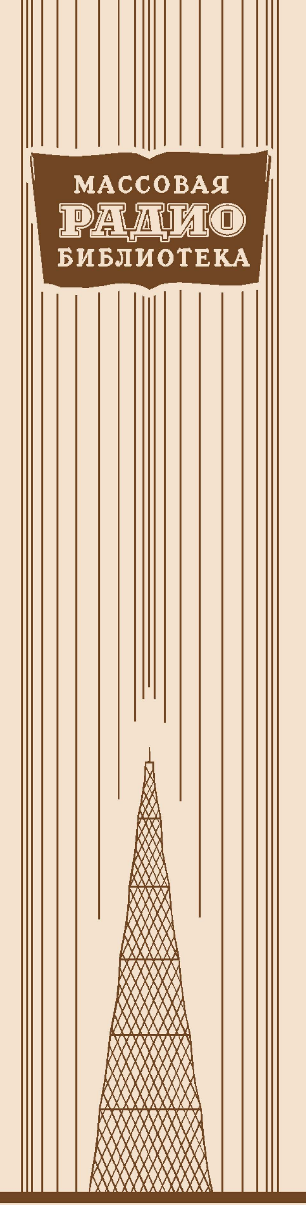
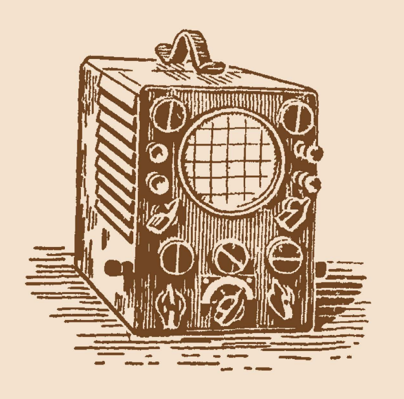


А. Г. СОБОЛЕВСКИЙ

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ





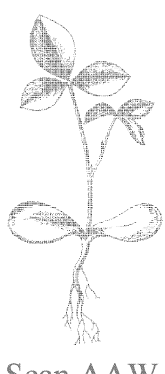
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1956

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 256

А. Г. СОБОЛЕВСКИЙ

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1956 ЛЕНИНГРАД

Книга рассчитана на подготовленного радиолюбителя. В ней излагаются принципы и особенности работы современного электроннолучевого осциллографа, приводятся практические схемы его основных узлов, даются сведения об их конструировании. Рассматриваются также методы измерения электрических и неэлектрических величин при помощи электроннолучевого осциллографа.

Автор *Соболевский Анатолий Георгиевич*

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Редактор *А. А. Жигарев* Технич. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 29/VI 1956 г. Подписано к печати 16/X 1956 г. Т-07691

Бумага 84×108 1/32 5,3 п. л. Уч.-изд.-л. 5,9

Тираж 40000 экз. Цена 2 р. 35 к. Заказ 1401.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом все сложнее и совершеннее становится радиоаппаратура, все более широкое применение находит радиотехника в самых различных отраслях народного хозяйства.

В связи с этим радиолюбителю в его творческой работе приходится все чаще и чаще сталкиваться с серьезными техническими проблемами, для успешного разрешения которых необходим детальный и всесторонний анализ процессов, протекающих в конструируемом аппарате. Подобный анализ, естественно, возможен лишь при наличии необходимых измерительных приборов. Кроме того, применение в процессе конструирования и налаживания измерительной аппаратуры позволяет радиолюбителю более сознательно подойти к оценке той или иной схемы или конструкции, позволяет ему более отчетливо представить себе физическую сущность работы конструируемого им аппарата.

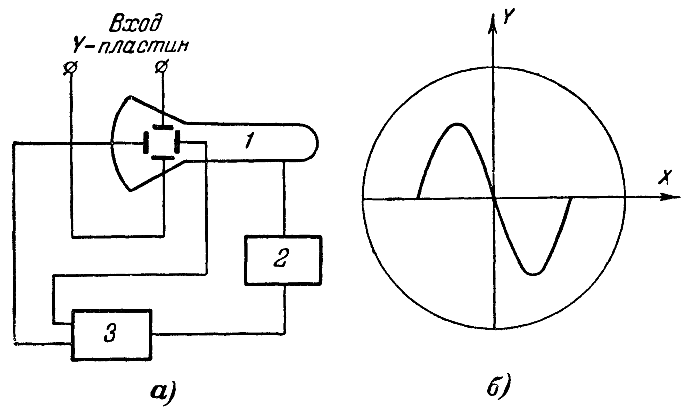
Электроннолучевой осциллограф — один из наиболее универсальных приборов радиолюбительской измерительной лаборатории. К сожалению, некоторые радиолюбители недооценивают значение этого прибора и нередко, даже имея этот прибор, не используют его. Сложился такой взгляд, очевидно, из-за того, что осциллограф [1] сам по себе, без дополнительных приставок (кстати, не сложных), редко может быть использован в практике радиолюбителя. Однако при наличии звукового и высокочастотного генераторов, которые обычно входят в комплект измерительной радиолюбительской аппаратуры, и некоторых других не сложных приставок осциллограф превращается в универсальный прибор, с помощью которого могут проводиться самые различные исследования и измерения.

Основным достоинством осциллографа, обеспечившим ему широкое распространение, является наглядность изо-

[1] Для краткости в дальнейшем электроннолучевой осциллограф называется просто осциллографом.

бражения на экране исследуемого процесса, особенно полезная при исследованиях и измерениях быстропеременных, импульсных и других кратковременных процессов. При исследованиях же в области телевидения, радиолокации, радиоастрономии и ряде других областей радиотехники осциллограф является незаменимым прибором.

Следует заметить, что полноценно использовать осциллограф можно только при условии ясного представления принципов действия и взаимосвязи отдельных узлов этого



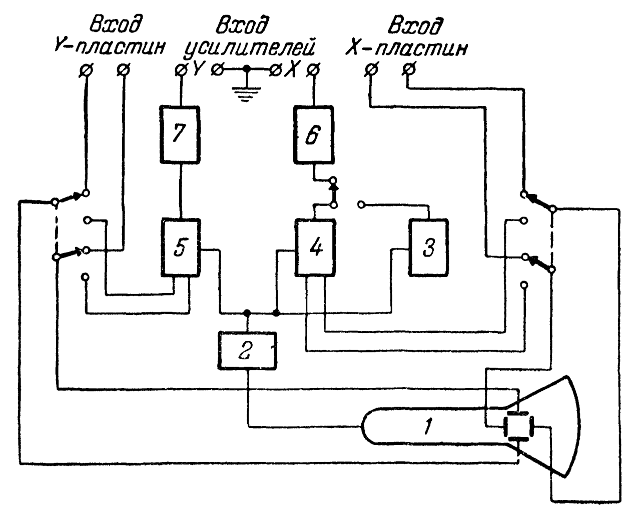
Фиг. 1. Блок-схема простейшего электроннолучевого осциллографа (*а*) и осциллограмма с линейной разверткой (*б*).

1 — электроннолучевая трубка, *2* — блок питания; *3* — блок временной развертки

достаточно сложного прибора. Кроме того, не следует при конструировании осциллографа увлекаться большим упрощением его. Затратив известное количество времени и труда на создание в достаточной мере совершенного осциллографа, радиолюбитель получит в свое распоряжение прибор, позволяющий при умелом обращении производить испытания самой разнообразной радиотехнической аппаратуры.

Электроннолучевым осциллографом называется прибор, позволяющий наблюдать на экране электроннолучевой трубки мгновенные значения исследуемых электрических величин. На фиг. 1,*а* представлена блок-схема простейшего электроннолучевого осциллографа. Кроме электроннолучевой трубки *1* (основного элемента осциллографа), в схему входят блок питания *2* и блок временной развертки *3*, который предназначен для перемещения светящегося пятна по экрану трубки с определенной (регулируемой) скоростью,

Это перемещение обычно производится по горизонтальной оси, которая носит название «оси времени» или оси *X*. Если одновременно с этим заставить пятно перемещаться перпендикулярно к оси времени так, чтобы это перемещение было пропорционально измеряемой величине, то прочерчиваемая светящимся пятном на экране трубки кривая (ее называют осциллограммой) позволит судить не только



Фиг. 2. Блок-схема усовершенствованного электроннолучевого осциллографа.

1 — электроннолучевая трубка, *2* — блок питания; *3* — блок временной развертки; *4* и *5* — усилители *X*- и *Y*-каналов; *6* и *7* — делители *X*- и *Y*-каналов.

о самой измеряемой величине, но и о законе ее изменения во времени. Ось, в направлении которой перемещается пятно за счет исследуемой величины, носит название «оси явления» или оси *Y* (фиг. 1,*б*).

Таким образом, основное назначение прибора — исследование переменных электрических процессов. Можно несколько видоизменить способ получения осциллограммы, заставив пятно перемещаться по оси *X* не в зависимости от времени, а в зависимости от какого-либо другого параметра. Простейшим примером такого осциллографического исследования является снятие ламповых характеристик, когда движение пятна по оси времени отображает величину напряжения на сетке исследуемой лампы. Но так как изменение этого параметра происходит хотя и по произволь-

но выбранному, но все же временному закону, то, следовательно, и в этом случае фактор времени не исключен.

Рассмотренный простейший осциллограф состоит всего из трех блоков. Однако возможности применения такого осциллографа ограничены. Дело в том, что осциллограф представляет собой, по существу, прибор для измерения напряжений, так как за весьма редкими исключениями в нем применяются трубки, у которых положение пятна на экране определяется напряжениями, приложенными к двум системам пластин, отклоняющих луч, причем одно или оба этих напряжений являются измеряемыми. При применении осциллографа измеряемые напряжения могут быть или недостаточны для заметного отклонения луча, или, наоборот, быть слишком велики. Следовательно, в первом случае потребуется применение усилителей напряжения — в общем случае двух, из которых один включен в канале оси X, а другой в канале оси Y (на фиг. 2 они обозначены в виде блоков *4* и *5*); во втором случае потребуется применение делителей, обеспечивающих снижение напряжения (блоки *6* и *7*). Поэтому, для того чтобы осциллограф мог быть широко и разнообразно использован, его следует снабдить этими блоками, которые, как правило, всегда имеются в современном электроннолучевом осциллографе.

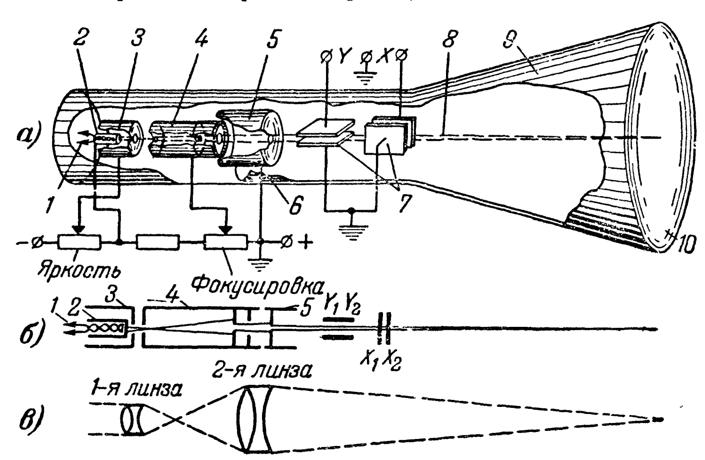
Кроме перечисленных выше блоков, современный осциллограф снабжается рядом дополнительных устройств, предназначенных главным образом для обеспечения удобств в эксплуатации прибора и повышения точности измерений.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

1. ОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ФОКУСИРОВКА И УПРАВЛЕНИЕ ИМ

Образование и фокусировка электронного пучка осуществляются с помощью находящегося внутри трубки специального устройства, называемого «электронной пушкой» (или «электронным прожектором») и состоящего в электро-



Фиг. 3. Электроннолучевая трубка.
а — конструкция трубки; *б* — принципиальное устройство, *в* — оптическая аналогия
1 — подогреватель, *2* — катод; *3* — управляющий электрод; *4* — первый анод, *5* — второй анод; *6* —графитовый слой; *7* — отклоняющие пластины; *8*—электронный пучок; *9* — колба трубки; *10* — люминесцирующий экран.

статических трубках из катода, управляющего электрода и двух анодов (фиг. 3). Аноды, имеющие по отношению к катоду положительные потенциалы, ускоряют электроны, вылетающие из катода, и, создавая определенную конфигу-

рацию электростатического поля, собирают электроны в тонкий пучок, который, попадая на люминесцирующий экран, вызывает его свечение.

Катод представляет собой небольшой цилиндр, дно которого, обращенное к экрану трубки, покрыто окисью бария или стронция. Внутри цилиндра помещен нагреватель, электрически изолированный от него. Потребляемая нагревателем мощность около 4 *вт* при рабочем напряжении 4—6,3 *в*.

Плотность электронного пучка (а следовательно, и яркость пятна на экране) регулируется с помощью управляющего электрода. Если на управляющий электрод подать отрицательное напряжение, то образующееся электростатическое поле будет замедлять движение электронов от катода и не все электроны будут проходить через отверстие в управляющем электроде, и плотность пучка и яркость светящегося пятна на экране будут уменьшаться. При некотором значении отрицательного напряжения на управляющем электроде отталкивающее действие будет настолько велико, что электроны не смогут пройти через его отверстие, свечения экрана не будет, трубка «запрется».

За управляющим электродом находится изолированный от него первый анод, представляющий собой цилиндр, внутри которого на некотором расстоянии друг от друга расположены диафрагмы с небольшими отверстиями.

За первым анодом расположен второй анод, выполненный в виде цилиндра с диафрагмой и соединенный с проводящим покрытием внутренней поверхности колбы трубки. На второй анод подается положительное напряжение большее, чем напряжение первого анода.

Процесс фокусировки электронного пучка с помощью электростатических полей во многом напоминает действие оптических линз на лучи света (см. фиг. 3,*б* и *в*). Поэтому система электродов, фокусирующих электронный пучок, называется «электронно-оптической системой».

Катод, управляющий электрод и первый анод образуют первую линзу. Проходя через эту линзу, электроны собираются в точке, лежащей на незначительном расстоянии впереди управляющего электрода. Эта точка пересечения траекторий электронов имеет значительно меньшие размеры, чем излучающая поверхность катода, и является тем точечным источником электронов, который в дальнейшем отображается на экране трубки. После прохождения точки пересечения электроны движутся дальше расходящимся

пучком. Чтобы сделать пучок более тонким, в первом аноде помещают ряд диафрагм с отверстиями, пропускающими только центральную, наиболее плотную часть пучка. Расходящийся пучок электронов фокусируется при помощи второй линзы, образующейся между первым и вторым анодами.

Для того чтобы изображение точки пересечения совпало с плоскостью экрана, необходимо соответственно подобрать разность потенциалов между первым и вторым анодами. Обычно это достигается изменением напряжения на первом аноде. Поэтому первый анод иногда называют фокусирующим, а второй — ускоряющим.

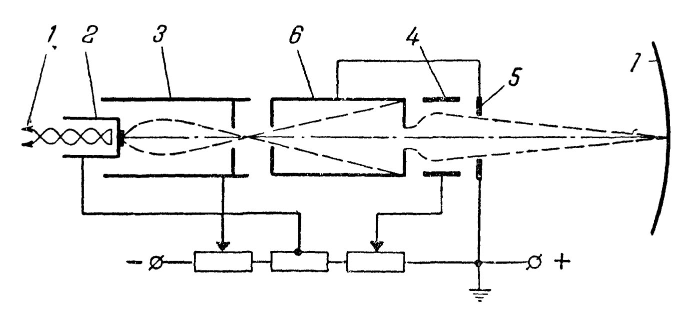
Попадая на экран, электронный пучок образует на нем резко очерченное светящееся пятно; выбитые из экрана вторичные электроны собираются положительно заряженным проводящим покрытием внутренних стенок трубки.

Второй анод (фиг. 3) и соединенное с ним проводящее покрытие обычно заземляются. Это вызвано тем, что средний потенциал отклоняющих пластин (об их роли будет сказано ниже) должен быть равен потенциалу второго анода. Если заземлить катод трубки, то входные зажимы отклоняющих пластин будут находиться под высоким анодным напряжением относительно корпуса осциллографа, что будет представлять значительные неудобства и даже опасность при эксплуатации осциллографа. Поэтому второй анод соединяют с корпусом, а катод и обмотку накала трубки в трансформаторе хорошо изолируют от шасси, так как напряжение в этом случае между ним и катодом равно полному напряжению источника высоковольтного питания.

Описанная электронная пушка, называемая триодной, имеет ряд недостатков, уменьшенных в более совершенной электронной пушке с ускоряющим электродом и нулевым током в цепи первого анода (фиг. 4). Отличие ее заключается во введении между управляющим электродом и первым анодом дополнительного электрода, имеющего форму длинного цилиндра.

На этот электрод, называемый ускоряющим, подается потенциал второго анода. Находясь между управляющим электродом и первым анодом, ускоряющий электрод устраняет влияние регулировки фокусировки на яркость свечения пятна на экране, что имеет место в триодной пушке. Кроме того, первый анод триодной пушки содержит несколько диафрагм, которые задерживают значительную долю электронов. Поэтому для обеспечения надежности регулировки

напряжения на первом аноде необходимо было в цепь делителя напряжения ставить сравнительно небольшое сопротивление, что увеличивало бесполезную потерю энергии в делителе. Первый анод пушки, показанной на фиг. 4, представляет собой либо открытый короткий цилиндр, либо диафрагму с отверстием большого диаметра. При такой конструкции пушки первый анод практически не задерживает электронов; ток анода очень мал, и регулировка фокусировки не влияет на плотность пучка, а следовательно, и на яркость свечения пятна на экране.



Фиг. 4. Электронная пушка с ускоряющим электродом и нулевым током на первом аноде.

1 — подогреватель; *2* — катод; *3* — управляющий электрод; *4* — первый анод; *5* — второй анод; *6* — ускоряющий электрод; *7* — люминесцирующий экран.

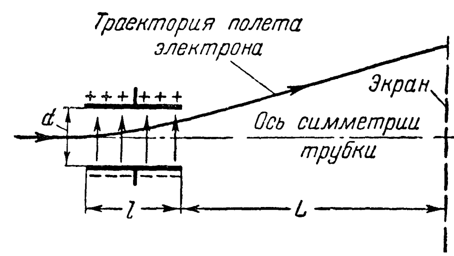
Яркость свечения пятна, а также и качество фокусировки зависят от скорости электронов в пучке, которая пропорциональна ускоряющему напряжению в степени $^1/_2$.

В зависимости от конструкции и назначения трубки ускоряющее напряжение колеблется от 700—800 *в* до нескольких киловольт и даже десятков киловольт, что соответствует скорости электронов от десятков до сотен тысяч километров в секунду.

Для осциллографического исследования какого-либо процесса необходимо одновременно перемещать электронный луч вдоль оси X (обычно пропорционально времени) и по оси Y в соответствии с измеряемой величиной.

Для перемещения (отклонения) электронного луча используются отклоняющие системы, состоящие из двух металлических пластинок (фиг. 5). Если приложить к пластинам постоянное напряжение U, то между ними создастся электростатическое поле, действующее на электроны с силой, направленной в сторону положительно заряженной пласти-

ны. За счет этой силы электроны пучка будут отклоняться от своего первоначального пути. Отклонение это будет прямо пропорционально приложенному к пластинам напряжению и длине пластин l. Кроме того, отклонение луча увеличивается с увеличением расстояния L от отклоняющих пластин до экрана трубки. Увеличение же расстояния между пластинами d и увеличение напряжения на втором аноде приводит к уменьшению отклонения луча. Поэтому при



Фиг. 5. Отклонение электронного пучка в электростатическом поле.

прочих равных условиях требуемая величина отклоняющего напряжения прямо пропорциональна величине ускоряющего напряжения.

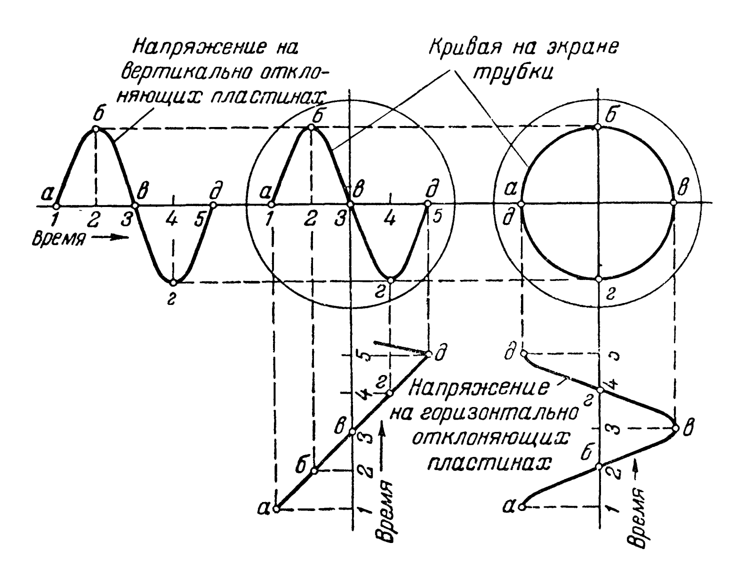
Таким образом, для увеличения отклонения желательно уменьшить напряжение на втором аноде. Но уменьшение этого напряжения влечет за собой ухудшение фокусировки и уменьшение яркости светящегося пятна на экране. Поэтому приходится находить оптимальную величину ускоряющего напряжения, при которой яркость и качество фокусировки достаточны, а необходимое отклоняющее напряжение не слишком велико.

Иногда прибегают к работе с разными анодными напряжениями: если требуется очень хорошая фокусировка и большая яркость (например, при фотографировании быстропеременных процессов), то ускоряющее напряжение выбирают достаточно большим; при необходимости же получить большое отклонение пятна на экране (большую чувствительность по отклонению) за счет некоторого ухудшения качества фокусировки анодное напряжение снижают.

Для характеристики отклоняющих систем введено понятие чувствительности по отклонению, которая равна смещению пятна на экране в миллиметрах на 1 *в* отклоняющего напряжения.

Чувствительность равна $\frac{Ll}{2U_a d}$, где U_a — напряжение на втором аноде, *в*; L, l и d (см. фиг. 5) — в *мм*.

В электростатических трубках применяются две пары отклоняющих пластин, перпендикулярных друг другу. На пару пластин X_1 и X_2 (см. фиг. 3), смещающих пучок в горизонтальном направлении, подается напряжение развертки, заставляющее электронный пучок двигаться по экрану с постоянной скоростью слева направо.



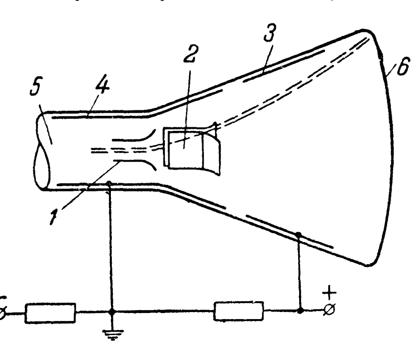
Фиг. 6. Перемещение электронного пучка по экрану под действием двух пар отклоняющих пластин.

Если одновременно с равномерным движением пучка по горизонтали путем подачи исследуемого напряжения на пластины Y_1 и Y_2 заставить луч отклоняться по вертикали в соответствии с изменением величины исследуемого напряжения, то пучок прочертит на экране кривую, показывающую изменение исследуемого напряжения во времени (фиг. 6).

Отметим, что X-пластины обычно находятся ближе к экрану и поэтому трубка по оси X обладает меньшей чувствительностью.

2. УСКОРЕНИЕ ПОСЛЕ ОТКЛОНЕНИЯ

Светоотдача люминофора, нанесенного на экран электроннолучевой трубки, увеличивается пропорционально квадрату напряжения на втором аноде. Однако увеличение этого напряжения сопровождается уменьшением чувствительности по отклонению. Поэтому для увеличения яркости без снижения чувствительности в некоторых типах электроннолучевых трубок применяют ускорение после отклонения, которое заключается в том, что электроны дополнительно ускоряются при движении к экрану положительным напряжением, приложенным к третьему аноду, но уже после прохождения отклоняющих пластин (фиг. 7). Конструктивно третий анод выполняется в виде кольца проводящего слоя, нанесенного на колбу трубки и расположенного между отклоняющими пластинами и экраном. От второго анода он отделен кольцевым промежутков в 6—12 *мм*. Второй анод такой трубки обычно заземляется, а на третий анод подается положительное, относительно земли, напряжение.



Фиг. 7. Конструкция электроннолучевой трубки с ускорением после отклонения.

1 — *Y*-пластины; *2* — *X*-пластины; *3*—третий анод; *4* — второй анод; *5* — колба трубки, *6* — люминесцирующий экран.

3. ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИЙ ЭКРАН

В качестве вещества, наносимого на внутреннюю поверхность экрана электроннолучевой трубки и светящегося под воздействием электронного луча, применяются различные химические соединения, например силикат цинка, вольфрамат кадмия, вольфрамат кальция и т. п. Такие вещества называют фосфòрами. Свечение фосфòра под воздействием электронного луча объясняется тем, что электроны, имеющие значительную энергию, расходуют ее на выбивание из атомов вторичных электронов и на приведение этих атомов в возбужденное состояние. Возбужденные атомы, переходя в нормальное состояние, излучают свет, интенсивность которого зависит от количества возбуждающих электронов

и их энергии. Следовательно, яркость свечения фосфора зависит от плотности луча и ускоряющего напряжения.

Светоодача и цвет свечения экрана зависят от химического состава фосфора и наличия в нем посторонних примесей. Добавление даже очень небольшого количества некоторых веществ (например, меди или серебра) может сильно увеличить светоотдачу фосфора и изменить цвет его свечения.

Характеристикой экрана является время его послесвечения. После прекращения воздействия электронного пучка фосфор перестает светиться спустя некоторое время, которое и называется временем послесвечения. При исследовании высокочастотных процессов время послесвечения должно быть небольшим, тогда как при исследовании очень медленных процессов экран трубки должен обладать большим временем послесвечения, так как в противном случае наблюдатель не увидит одновременно всего изображения кривой.

4. ДВУХЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ

Двухлучевая трубка представляет собой, по существу, две однолучевые трубки, помещенные в одну колбу и имеющие общий экран. Обе электронные пушки располагаются так, что их электронные оси пересекаются в одной точке экрана; это дает возможность совмещать линии разверток. В случае необходимости линии разверток могут быть разведены путем подачи на отклоняющие пластины постоянного напряжения. Питание обеих пушек двухлучевой трубки может производиться как от отдельных источников, так и от одного общего источника через делитель напряжения.

Применяют двухлучевые трубки в тех случаях, когда бывает необходимо одновременно на одном экране наблюдать и сравнивать между собой две осциллограммы. Так, например, с помощью такой трубки можно очень легко выявить наличие искажений в усилителе. Для этого на одну отклоняющую систему подают сигнал с входа усилителя, а на другую — с выхода. На экране в этом случае появятся два изображения. Если усилитель искажает, то изображение выходного сигнала будет отличаться от изображения сигнала на входе. Так же поступают и в том случае, когда хотят сравнить изменение формы сигнала при прохождении его через различные электрические цепи, при исследовании зависимости изменения напряжения в какой-либо цепи от изменения тока и т. д.

Если подобные явления повторяются через регулярные интервалы времени и если скорость повторения их не очень велика, то для наблюдения двух явлений можно использовать трубку и с одной пушкой, применяя электронный переключатель (см. гл. 4, § 17).

5. ИСКАЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ТРУБКАХ

Рассмотрим некоторые виды искажений, встречающиеся в электростатических трубках.

Астигматизм проявляется в том, что, в то время как по одной оси удается осуществить хорошую фокусировку луча, по оси, перпендикулярной к первой, фокусировка не достигается. Возникновение такого рода искажений объясняется присутствием в трубке искажающих электростатических полей, которые появляются в ней при неправильном выборе среднего потенциала отклоняющих пластин относительно последнего анода. Для получения хорошей фокусировки средний потенциал отклоняющих пластин должен несколько отличаться от потенциала второго анода, причем если одна пара пластин имеет средний потенциал равным потенциалу второго анода, то другая пара должна иметь его большим (или меньшим). Поэтому для устранения явления астигматизма требуется обеспечить возможность регулировки среднего потенциала на каждой паре пластин в отдельности. В крайнем случае можно ограничиться возможностью регулировки среднего потенциала только Y-пластин, оставив его у X-пластин равным потенциалу второго анода.

Практическая схема устройства для устранения астигматизма будет разобрана при рассмотрении схемы смещения луча (см. стр. 22).

Искажения вследствие асимметрии отклоняющих напряжений могут выразиться в двух видах искажений: дефокусировки луча при отклонении и трапецоидальных искажениях.

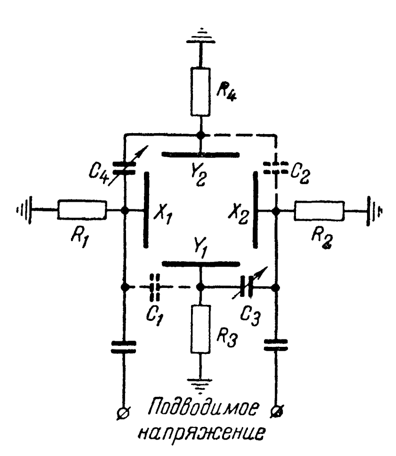
Дефокусировка при отклонении луча заключается в том, что при отклонении луча от центра экрана под действием одной из пар отклоняющих пластин светящееся пятно из круглого превращается в эллиптическое.

Трапецоидальные искажения выражаются в неодинаковом отклонении электронного луча по вертикали в разных местах экрана при одном и том же отклоняющем напряжении.

Для сведения указанных искажений к минимуму средний потенциал отклоняющих пластин должен сохраняться в процессе работы постоянным, т. е. необходимо применять

двухтактную схему управления отклонением луча, обеспечивающую симметричную подачу отклоняющего напряжения и симметричное изменение его в процессе работы на обеих отклоняющих пластинах.

Перекрестные искажения вызываются воздействием одной пары отклоняющих пластин на другую, т. е. пучок отклоняется, например, вертикально не только под действием Y-пластин, но и под действием X-пластин. Воздействие это обусловливается взаимосвязью между вертикальными и горизонтальными пластинами вследствие наличия между ними, а также монтажными проводниками их цепей паразитных емкостей.



Фиг. 8. Схема компенсации перекрестных искажений.

Взаимосвязь особенно сказывается в случае несимметрии паразитных емкостей между каждой пластиной той пары, на которую создается наводка, и цепью, которая создает наводку. В этом случае создается как бы несбалансированный мост (фиг. 8).

Для устранения перекрестных искажений необходимо выдержать основное условие сбалансированного моста, т. е. произведения полных сопротивлений противоположных плеч должны быть равны. На фиг. 8 пунктиром показаны паразитные емкости и разбалансировка моста очевидна. Если же включить конденсаторы C_3 и C_4 так, чтобы C_1 и C_3, C_2 и C_4 были попарно равны, то при подаче отклоняющего напряжения на любую пару пластин перекрестные искажения не возникнут. Практически такая балансировка выполняется следующим образом. На одну из пластин (например, на X_1) подается отклоняющее напряжение. Другая пластина (X_2) соединяется со вторым анодом. Пластины Y отключаются от схемы и соединяются с анодом через отдельные сопротивления по 2 *мгом*. Между пластиной X_1 (на которую подано напряжение) и какой-либо Y-пластиной (например, Y_2) включается переменный конденсатор емкостью около 10 *пф*. Емкость конденсатора подбирают таким образом,

чтобы луч не отклонялся в направлении, перпендикулярном отклонению под действием пластины X_1. Затем с помощью другого конденсатора производится та же операция при подаче отклоняющего напряжения на пластину X_2, включая конденсатор между пластинами X_2 и Y_1.

Если провода, соединяющие отклоняющие пластины со схемой, длинные, то описанные выше операции следует производить, не отключая этих проводов от пластин.

Искажения за счет наведения электромагнитных и электростатических полей. При конструировании и эксплуатации осциллографа необходимо принимать меры для предохранения трубки от воздействия на нее внешних электрических и магнитных полей. В противном случае отклонения луча, вызванные этими полями, будут накладываться на отклонения, обусловленные отклоняющими пластинами. Кроме того, присутствие посторонних магнитных и электростатических полей в системе электронных линз может вызвать дефокусировку луча и даже вывести его за пределы экрана. Обнаружить присутствие вблизи трубки внешних полей можно путем постепенного уменьшения анодного напряжения. Отклоняющие пластины при этом должны быть накоротко соединены со вторым анодом. При уменьшении ускоряющего напряжения чувствительность трубки по отклонению увеличивается и пучок начинает заметно отклоняться даже под действием слабых паразитных полей.

Основным источником паразитных магнитных полей являются работающие в схеме осциллографа трансформаторы и дроссели. Поэтому следует следить за тем, чтобы они были удалены от трубки на значительное расстояние, в особенности от ее катодного конца, так как около катода скорость электронов незначительна и они легче поддаются отклонению. Конструировать трансформаторы и дроссели желательно так, чтобы они работали при малых плотностях магнитных потоков, а располагать по отношению к трубке таким образом, чтобы их магнитные поля взаимно компенсировались.

Кроме того, для защиты электроннолучевой трубки от действия внешних полей рекомендуется заключать ее в экран из мягкого железа или пермаллоя.

6. ПИТАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫХ ТРУБОК

Для питания анодов электроннолучевых трубок требуется выпрямитель, рассчитанный на ток 0,1—1 *ма* и напряжение 800—3 000 *в*. Все типы выпрямителей, применяющие-

ся в осциллографах для питания трубок, можно разделить на две группы.

К первой группе относятся выпрямители, высокое напряжение в которых получают с помощью повышающего трансформатора. Схема выпрямителя может быть однополупериодной или двухполупериодной с удвоением, утроением, умножением и т. д.

Ко второй группе относятся схемы высокочастотных выпрямителей, в которых высокое напряжение получают от импульсов, возникающих в контуре лампового генератора, работающего на частоте 50—300 *кгц*. Величину этого импульсного напряжения в специальной повышающей обмотке доводят до нескольких тысяч вольт (можно до 5—6 *кв* и выше). Повышенное напряжение выпрямляется и подводится к электродам трубки.

Наиболее широкое применение получили выпрямители первой группы, что объясняется их простотой и надежностью в работе. Особенно часто используется однополупериодная схема выпрямления. В качестве вентилей могут быть использованы как вакуумные, так и твердые выпрямители (селеновые столбики). Вторичная обмотка трансформатора рассчитывается на нужное напряжение. При этом следует учитывать, что так как ток луча трубки очень мал, то выпрямитель фактически оказывается нагруженным только на конденсатор фильтра $C_{ф}$, и потому величина выпрямленного напряжения на нем близка к амплитудному значению напряжения вторичной обмотки трансформатора.

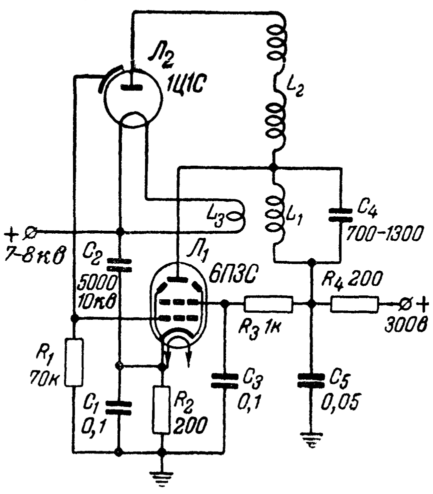
Для фильтрации выпрямленного напряжения достаточно применение простейшего фильтра, состоящего из RC ячеек. Емкости конденсаторов фильтра выбирают в пределах 0,03—0,05 *мкф*. Количество фильтрующих ячеек обычно не превышает двух.

Все сказанное относительно однополупериодных схем выпрямителей применимо и к двухполупериодным схемам. Однако эти схемы имеют то преимущество перед однополупериодным, что в них требуется повышающий трансформатор с половинным напряжением вторичной обмотки, а фильтры — с кондентаторами половинной емкости. Пиковое напряжение на вентилях также имеет половинную величину.

Схему удвоения напряжения применяют в том случае, если почему-либо желательно уменьшить напряжение вторичной обмотки высоковольтного трансформатора. При этой схеме вдвое уменьшается напряжение на вентилях и кон-

денсаторах фильтра, но зато повышаются требования в отношении изоляции между вторичными и сетевыми обмотками, так как в этом случае разность потенциалов между любой из вторичных обмоток и землей (или, что то же, сетевой обмоткой) равна половине высокого напряжения, даваемого выпрямителем.

Очень хорошие результаты можно получить при использовании схемы выпрямителя с умножением напряжения, собранного на селеновых столбиках. Селеновые шайбы должны быть рассчитаны на обратное напряжение, равное $2{,}8U_2$, где U_2 — напряжение повышающей обмотки трансформатора.

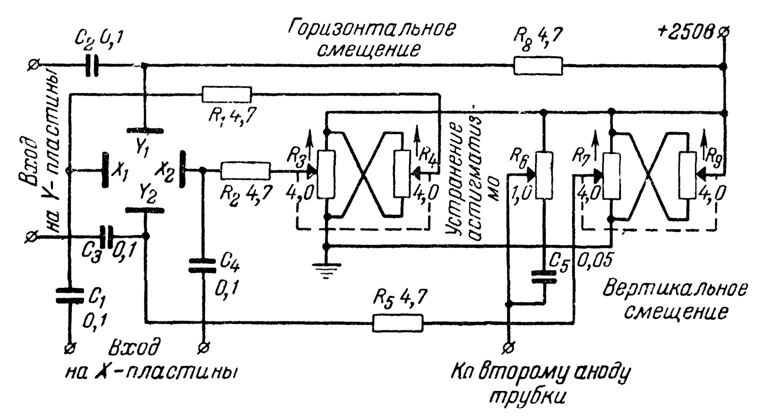


Фиг. 9. Схема выпрямителя с высокочастотным генератором.

Высокочастотные выпрямители применяются при необходимости получить напряжение порядка 5 *кв* и выше. На фиг. 9 представлена одна из типичных схем такого выпрямителя. Катушки размещаются на фарфоровой трубке диаметром 8 *мм*. Катушка L_2 состоит из двух секций, каждая из которых содержит по 2 500 витков, намотанных проводом ПЭШО 0,07—0,08 *мм* и соединенных последовательно. Катушка L_1 состоит из 290 витков провода ПЭШО 0,3—0,35. Ширина намотки каждой катушки 6,5—7 *мм*; расстояние между ними—5—6 *мм*, намотка — типа «Универсаль», либо внавал. Накальная обмотка L_3 выполняется из провода диаметром 0,7—0,75 *мм* с хорошей изоляцией. Размещается она поверх катушки L_1 и состоит из двух витков. Величина снимаемого с генератора высокого напряжения зависит от добротности катушек, поэтому следует обратить особое внимание на качество изготовления и монтажа последних.

Кольцо, связывающее управляющую сетку лампы $Л_1$ с анодом кенотрона, изготовляется из пружинящей проволоки диаметром 0,4 *мм*, которая свивается в спираль диаметром 4—5 *мм*. Концы спирали спаиваются вместе и она с трением надевается на баллон кенотрона.

Для смещения пятна на экране трубки в ту или иную сторону на отклоняющие пластины подается постоянное напряжение соответствующей полярности. На фиг. 10 представлена полная схема устройства для смещения луча по



Фиг. 10. Схема для симметричного смещения луча на экране и устранения астигматизма трубки.

вертикали и горизонтали, позволяющая, кроме того, производить регулировку потенциала второго анода относительно среднего потенциала отклоняющих пластин, чем достигается устранение астигматизма трубки.

ГЛАВА ВТОРАЯ

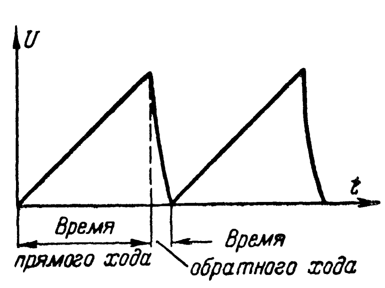
ГЕНЕРАТОР РАЗВЕРТКИ

7. ФОРМА НАПРЯЖЕНИЯ, ПОЛУЧАЕМАЯ ОТ ГЕНЕРАТОРА РАЗВЕРТКИ

Для перемещения луча по оси времени X с постоянной скоростью напряжение на отклоняющих пластинах должно изменяться линейно во времени (прямой ход), и в самом конце периода развертки луч должен быстро возвращаться в исходное положение (обратный ход) так, как это показано на фиг. 11.

Подобная форма отклоняющего напряжения носит название пилообразной. Показанная на фиг. 11 пилообразная развертка является идеальной, так как в течение прямого хода она совершенно линейна. Нелинейность же обратного хода значения не имеет; длительность его должна быть

возможно малой, чтобы след его нельзя было увидеть, или в худшем случае яркость его должна снизиться настолько, чтобы не затруднялось наблюдение прямого хода. Линии обратного хода можно сделать невидимыми, если во время обратного хода погасить луч, подав на управляющий электрод или катод трубки запирающий импульс. Величина времени обратного хода важна еще и потому, что при большой его длительности часть исследуемого явления придется на обратный ход и выпадет из наблюдения.



Фиг. 11. Линейная пилообразная форма отклоняющего напряжения.

Для получения круговой или эллиптической развертки на отклоняющие *X*- и *Y*-пластины подаются колебания синусоидальной формы, сдвинутые по фазе на 90°. Если амплитуда колебаний постоянна, то луч движется по кругу, диаметр которого зависит от амплитуды; если она меняется по линейному закону, луч движется по спирали с постоянным шагом.

Таким образом, для временных разверток в основном используются две формы отклоняющего напряжения: пилообразная и синусоидальная.

8. ГЕНЕРАТОР ПИЛООБРАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Обычно пилообразное напряжение получают с помощью генератора, действие которого основано на заряде конденсатора, в идеальном случае, неизменным током одного направления (прямой ход развертки) и, опять в идеальном случае, мгновенном разряде этого конденсатора (обратный ход).

Известно, что если постоянное напряжение приложить к последовательно соединенным конденсатору и сопротивлению, то ток, протекающий в этой цепи, заряжает конденсатор до напряжения в вольтах:

$$U = \frac{Q}{C},$$

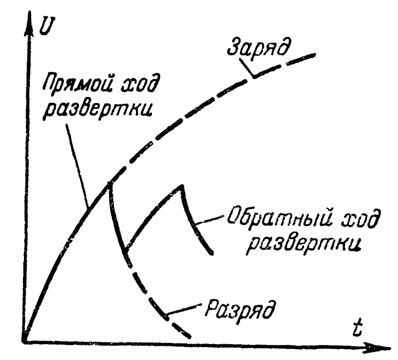
где Q — заряд конденсатора, *к*;
C — емкость конденсатора, *ф*.

При этом нарастание напряжения на конденсаторе происходит по экспоненциальному закону:

$$U_t = U_0\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right),$$

где U_0 — напряжение источника питания, *в*;
C — емкость конденсатора, *ф*;
R — сопротивление, *ом*;
t — время с момента начала заряда конденсатора, сек.

Естественно, что для получения линейного прямого хода такой закон является мало подходящим. Однако если использовать лишь небольшую часть кривой заряда конденсатора (фиг. 12), то можно получить вполне удовлетворительную линейную развертку.



Фиг. 12. Экспоненциальные кривые заряда и разряда конденсатора через сопротивление.

По характеру работы генераторы развертки могут быть подразделены на самовозбуждающиеся и ждущие.

Самовозбуждающиеся генераторы непрерывно генерируют напряжение развертки. Если при этом частота напряжения или, как говорят, частота развертки синхронизирована с частотой исследуемого процесса, то на экране трубки видно неподвижное изображение кривой, характеризующей изменение исследуемого напряжения во времени.

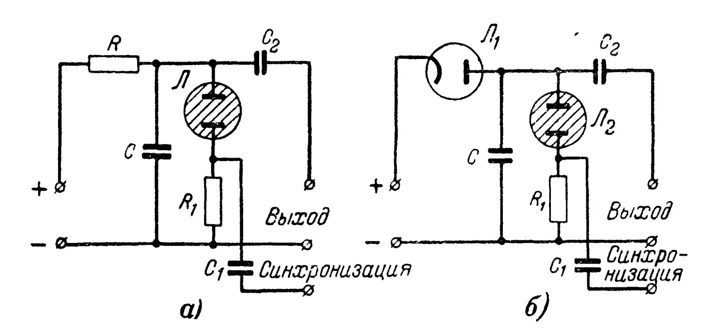
Ждущие генераторы или генераторы ждущей развертки применяются для получения осциллограмм непериодических, одиночных и подобных процессов. От периодических эти развертки отличаются тем, что в исходном положении, когда на отклоняющих пластинах трубки нет исследуемого напряжения, генератор не работает и напряжение развертки отсутствует. В момент поступления на трубку импульса исследуемого напряжения часть этого напряжения «спускает» генератор и начинается прямой ход развертки. После окончания прямого хода генератор возвращается в исходное состояние и остается в нем до поступления нового импульса исследуемого напряжения.

Для осуществления обратного хода развертки требуется наличие переключающего устройства, переводящего генератор из режима прямого хода в режим обратного. Так как в емкостных генераторах зарядные и разрядные цепи раздельны и полное сопротивление разрядной цепи очень мало по сравнению с полным сопротивлением зарядной цепи (потому что обратный ход должен составлять лишь незначительную долю прямого хода), то практически оказывается необходимым только подключать в определенное время разрядную цепь к зарядной, оставляя последнюю включенной все время. Разрядная цепь обычно представляет собой одну или несколько электронных ламп, которые включаются либо непосредственно самой схемой, либо с помощью какого-нибудь внешнего устройства.

Автоматическое подключение разрядной цепи осуществляется посредством тиратронов или газонаполненных ламп, а чаще всего посредством мультивибраторов или других релаксационных схем.

9. ГЕНЕРАТОР ЛИНЕЙНОЙ РАЗВЕРТКИ С ГАЗОНАПОЛНЕННЫМИ ЛАМПАМИ

Схема развертки с газотроном показана на фиг. 13,*а*. При включении напряжения питания конденсатор *С* начнет заряжаться через сопротивление *R*. Через некоторое



Фиг. 13. Генератор пилообразного напряжения на газотроне.
а — схема с зарядным сопротивлением; *б* — схема с линеаризирующим диодом.

время, определяемое постоянной времени зарядной цепи *RC*, напряжение на конденсаторе достигнет значения, равного потенциалу зажигания газотрона. Газотрон *Л* зажжется, и конденсатор *С* начнет разряжаться, причем время разряда через газотрон определится постоянной времени

разрядной цепи R_pC, где $R_p = R_i + R_1$ (R_i — внутреннее сопротивление газотрона при его горении).

После того как напряжение на конденсаторе C упадет до напряжения погасания, ток через газотрон прекратится и процесс заряда конденсатора начнется сначала. Частота повторяемости процесса может регулироваться изменением емкости C или сопротивления R. Форма напряжения на выходе генератора такая же, как на фиг. 12.

Для рассмотренной схемы генератора пилообразного напряжения характерны следующие зависимости:

1. Чем меньше постоянная R_pC по сравнению с RC, тем меньше время разряда по сравнению с временем заряда.

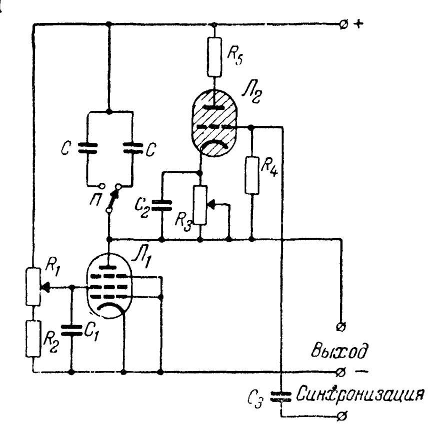
2. Чем больше постоянная RC по сравнению с временем заряда, тем больше закон нарастания напряжения на конденсаторе C приближается к линейному. Абсолютная же величина заряда на конденсаторе при этом уменьшается, т. е. для получения той же амплитуды пилообразного напряжения нужно большее напряжение источника питания.

Как уже отмечалось, изображение на экране осциллографа будет неподвижно только в случае синхронизации частоты развертки с частотой исследуемых колебаний. Сущность синхронизации заключается в следующем. Предположим, что кроме напряжения питания в момент, когда напряжение на конденсаторе C еще не достигло порога зажигания лампы *Л*, на газотрон подается некоторое дополнительное напряжение такой величины, что напряжение на электродах газотрона сразу становится равным напряжению его зажигания. Это значит, что в момент подачи дополнительного сигнала газотрон немедленно зажжется и прямой ход оборвется раньше, чем это было бы при отсутствии внешнего сигнала. Таким образом, подавая в конце каждого прямого хода развертки внешний импульс напряжения, можно синхронизировать частоту развертки с частотой этих импульсов. Роль синхронизирующих импульсов может играть само исследуемое напряжение. В этом случае часть его подают на сопротивление R_1, включенное последовательно с газотроном.

Для получения удовлетворительной линейности развертки необходимо, чтобы ток заряда конденсатора C все время оставался постоянным. На практике же оказывается, что по мере приближения напряжения на конденсаторе к величине питающего напряжения ток заряда уменьшается. По

этой причине приведенная на фиг. 13,*а* схема не обеспечивает достаточной линейности прямого хода развертки.

Бо́льшую линейность можно получить, заменив сопротивление R насыщенным диодом, т. е. взяв напряжение источника питания таким, чтобы ток диода был равен току его насыщения (фиг. 13,*б*). Еще лучшие результаты могут быть получены при замене диода пентодом. Такая замена постоянного сопротивления насыщенным диодом (или пентодом) эквивалентна замене этого сопротивления таким переменным сопротивлением, величина которого зависит от приложенного напряжения и так, что протекающий через него ток практически остается неизменным.



Фиг. 14. Генератор пилообразного напряжения на тиратроне с линеаризирующим пентодом.

Генераторы пилообразного напряжения с газотроном применяются редко, что связано с рядом существенных недостатков, присущих этим схемам. Основной недостаток заключается в небольшой величине разности напряжений зажигания и погасания газотрона и связанной с этим незначительной амплитуде пилообразного напряжения, достигающей максимально нескольких десятков вольт. Кроме этого, данная схема неудобна в отношении синхронизации. Избавиться от этих недостатков позволяет схема, использующая в качестве автоматического разрядного устройства тиратрон.

На фиг. 14 представлена схема генератора пилообразного напряжения с тиратроном. Здесь конденсатор C включен между анодом и катодом тиратрона $Л_2$. В цепь катода последовательно включено небольшое сопротивление R_3, падение напряжения на котором создает смещение на сетке тиратрона, определяющее требуемый потенциал зажигания, который может достигать 1 000 *в*. С помощью регулировки сеточного смещения можно изменять напряжение, до которого заряжается конденсатор C, т. е. можно регулировать амплитуду пилообразного напряжения.

Синхронизация генератора осуществляется путем подачи на сетку тиратрона синхронизирующего напряжения. Это напряжение вызывает разряд конденсатора C через тиратрон в нужный момент, так как оно уменьшает отрицательное напряжение на сетке и приводит к зажиганию тиратрона. Благодаря тому, что изменение напряжения на сетке тиратрона на 1 *в* вызывает изменение потенциала зажигания его на десятки вольт, синхронизация достигается при значительно меньшей нагрузке исследуемой цепи, чем в газотронном генераторе.

Частота развертки может изменяться при помощи выбора переключателем одного из конденсаторов C и регулирования сопротивления R_1. При изменении C частота будет изменяться скачком, а при изменении R_1 — плавно. Изменение частоты при изменении величины сопротивления R_1 объясняется тем, что это сопротивление определяет значение экранного напряжения лампы $Л_1$, а следовательно, и ее внутреннее сопротивление, которое является зарядным сопротивлением для конденсатора C. Так как время прямого хода (период развертки) определяется произведением зарядного сопротивления на емкость C (постоянной времени), то зависимость частоты развертки от величины сопротивления R_1 вполне понятна.

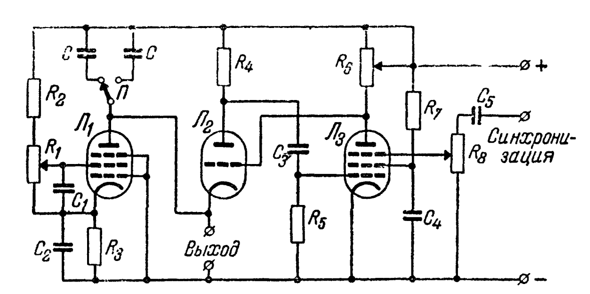
При конструировании генераторов развертки с тиратроном следует иметь в виду, что напряжение между катодом и нитью подогрева не должно превышать нескольких вольт. Поэтому для питания накала тиратрона на силовом трансформаторе делают отдельную экранированную обмотку и один из выводов накала соединяют с катодом.

10. МУЛЬТИВИБРАТОР

Мультивибратором называется генератор на электронных лампах, служащий для получения несинусоидальных колебаний. В настоящее время известно большое количество схем мультивибраторов, с помощью которых можно получать колебания пилообразной, прямоугольной и других форм.

Рассмотрим один из наиболее часто применяющихся в осциллографических развертках генератор, схема которого изображена на фиг. 15. Конденсатор C заряжается через токоограничивающий пентод $Л_1$. Разряд его осуществляется через лампу $Л_2$, которая в начальный момент (когда конденсатор C еще не заряжен) заперта, так как ее управляющая сетка по отношению к катоду имеет большой отрица-

тельный потенциал. По мере заряда конденсатора C катод лампы $Л_2$ становится все более отрицательным, пока, наконец, потенциал его не сравняется с потенциалом управляющей сетки. При этом лампа $Л_2$ открывается и конденсатор C разряжается через нее. Анодный ток создает падение напряжения на сопротивлении R_4, которое через конденсатор C_3 в виде отрицательного импульса подается на управляющую сетку лампы $Л_3$. Уменьшение положительного напряжения на сетке этой лампы вызывает уменьшение ее



Фиг. 15. Мультивибратор для получения пилообразного напряжения развертки.

анодного тока и, следовательно, повышение напряжения на аноде. Это, в свою очередь, вызывает увеличение положительного напряжения на управляющей сетке лампы $Л_2$, анодный ток которой от этого еще более возрастает. Процесс будет продолжаться до тех пор, пока лампа $Л_3$ не запрется, а лампа $Л_2$ не откроется полностью.

Когда конденсатор C разрядится, анодный ток лампы $Л_2$ уменьшится, что вызовет появление положительного импульса на сетке лампы $Л_3$, которая, открывшись, запрет лампу $Л_2$, после чего весь процесс заряда конденсатора C начнется сначала, причем форма изменения напряжения на катоде лампы $Л_2$ будет пилообразной.

Как и в генераторе с газонаполненными лампами, время прямого хода (заряд емкости C) определяется постоянной времени зарядной цепи $R_{i1}C$, где R_{i1} — внутреннее сопротивление лампы $Л_1$, а время обратного хода (разряд емкости C) — постоянной $R_{i2}C$ разрядной цепи, где R_{i2} — внутреннее сопротивление лампы $Л_2$.

Рассмотренная схема мультивибратора может работать и как ждущая развертка. Для этого необходимо, чтобы прямой ход развертки, т. е. заряд емкости C, начинался в мо-

мент прихода на отклоняющие пластины трубки исследуемого напряжения. До этого момента мультивибратор не должен работать.

Чтобы превратить самовозбуждающуюся схему на фиг. 15 в ждущую, из нее надо исключить конденсатор C_3. В исходном положении емкость C заряжена. Если бы конденсатор C_3 не был отключен и анод лампы $Л_2$ соединялся через него с сеткой лампы $Л_3$, то начавшийся при этом разряд емкости C через лампу $Л_2$ заставил бы запереться лампу $Л_3$ и та, в свою очередь, окончательно отперла лампу $Л_2$, вызвав разряд конденсатора C. Но так как конденсатор C_3 теперь отсутствует, то лампа $Л_2$ отпереться не может и емкость C остается заряженной.

Представим далее, что на сетку лампы $Л_3$ подано некоторое отрицательное напряжение, которое запирает лампу. От этого немедленно отопрется лампа $Л_2$, что вызовет разряд конденсатора C. Если теперь снять запирающее напряжение с лампы $Л_3$, то лампа $Л_2$ запрется и конденсатор C начнет заряжаться, обеспечивая тем самым прямой ход развертки. Этот запирающий лампу $Л_3$ импульс, спускающий развертку, обычно создается самим исследуемым напряжением.

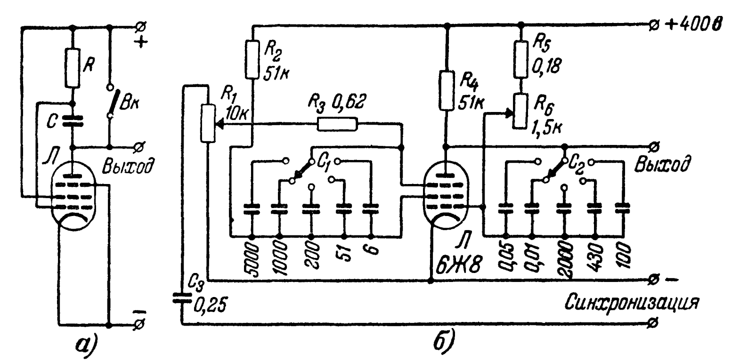
Частота генерирования изменяется с изменением величины емкости C. Сопротивление R_1, как и в прежних схемах, служит для плавного регулирования частоты.

Переменное сопротивление R_6 в аноде лампы $Л_3$ позволяет регулировать амплитуду развертывающего напряжения. С увеличением этого сопротивления напряжение на сетке лампы $Л_2$ уменьшается и конденсатор C к моменту отпирания лампы заряжается до более высокого напряжения.

11. ГЕНЕРАТОР РАЗВЕРТКИ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В последние годы появилось большое количество схем генераторов развертки, получивших название «фантастрон», «санатрон» и пр. Схемы эти отличаются очень большой линейностью генерируемого пилообразного напряжения (иногда нелинейность всего 0,1—0,2%). Достигается такая большая линейность тем, что в этих генераторах с помощью специального устройства создаются условия для строго линейного разряда конденсатора, за счет чего и получают линейный прямой ход развертки (заметим, что в этих схемах прямой ход развертки получают за счет разряда емкости, а не заряда ее, как в схемах, рассмотренных нами ранее).

Принципиальная схема генератора с емкостной обратной связью приведена на фиг. 16,*а*. Выключатель *Вк* в анодной цепи заменяет собой устройство, через которое производится заряд конденсатора *С*. При замкнутом выключателе конденсатор будет заряжаться потому, что потенциал верхней по схеме обкладки его в процессе заряда будет поддерживаться близким к минусу анодного напряжения, так как значение потенциала управляющей сетки, к которой присоединяется эта верхняя обкладка, ограничивается



Фиг. 16. Генератор пилообразного напряжения с емкостной обратной связью.

а — принципиальная схема; *б* — практическая схема.

сеточным током. При разомкнутом выключателе конденсатор начнет разряжаться через лампу и сопротивление *R*.

Как уже отмечалось, для получения линейного прямого хода развертки ток через конденсатор *С* при разряде должен оставаться неизменным. Для этого напряжение на управляющей сетке должно изменяться соответственно изменению анодного напряжения. Отрицательное напряжение смещения на ней в любой момент времени в процессе разряда равно разности между напряжением источника питания и падением напряжения на сопротивлении *R*. По мере разряда конденсатора напряжение на аноде лампы падает. При этом уменьшается и отрицательное сеточное смещение, причем таким образом, что величина анодного тока сохраняет свое значение. Так как сопротивление *R* выбрано достаточно большим, существенное уменьшение сеточного смещения достигается при ничтожном спадании тока через *R*, и этот ток, а следовательно, и анодный ток лампы чрезвычайно мало изменяются при разряде конденсатора. Однако сказанное остается в силе лишь при том условии, что лампа

работает в пределах линейного участка своей характеристики.

Практическая схема генератора пилообразного напряжения с емкостной обратной связью приведена на фиг. 16,*б*. Схема состоит как бы из двух ламп, причем анодом одной из них служит экранная сетка. Между «лампами» создана положительная обратная связь. Быстрое изменение напряжения на экранной сетке через емкость C_1 передается на защитную сетку, которая управляет анодным током, а быстрое изменение напряжения на аноде, в свою очередь, через конденсатор C_2 передается на управляющую сетку, которая управляет током экранной сетки. Кроме того, в том же направлении действует перераспределение тока между анодом и экранной сеткой: уменьшение напряжения на защитной сетке вызывает уменьшение анодного тока и увеличение тока экранной сетки даже при условии, что напряжение на управляющей сетке остается постоянным.

Предположим, что ток экранной сетки незначительно увеличился. Это вызовет уменьшение напряжения на защитной сетке и уменьшение анодного тока, что, в свою очередь, приведет к дальнейшему увеличению тока экранной сетки. Так будет продолжаться до тех пор, пока лампа не запрется по анодному току. Когда это произойдет, конденсатор C_2 начнет быстро заряжаться через сопротивление R_4 и участок сетка — катод лампы. Конденсатор C_1 в это время разряжается через сопротивление R_1 и параллельно соединенные сопротивления R_2 и участок экранная сетка — катод.

По мере заряда C_2 и разряда C_1 напряжение на защитной сетке лампы увеличивается и наступает, наконец, такой момент, когда лампа по анодному току начинает отпираться. Появляется анодный ток. Ток экранной сетки при этом уменьшается, что приводит к быстрому отпиранию лампы. Конденсатор C_2 начинает разряжаться, причем разряд его происходит аналогично рассмотренному в схеме на фиг. 16,*а*.

В процессе разряда конденсатора C_2 напряжение на управляющей сетке нарастает линейно до тех пор, пока не появится сеточный ток. Анодный ток, который до этого тоже нарастал, теперь начинает спадать. Это вызывает резкое увеличение тока экранной сетки, от чего напряжение на защитной сетке уменьшается, лампа запирается по анодному току и весь процесс начинается сначала.

Синхронизация генератора осуществляется путем подачи на защитную сетку положительных синхронизирующих

импульсов, отпирающих лампу в нужный момент. Грубая регулировка частоты развертки производится переключением емкостей C_2 и C_1, а плавная — изменением напряжения смещения на управляющей сетке сопротивлением R_6. При указанных на фиг. 16,*б* величинах элементов схемы генерируемый диапазон частот лежит в пределах от 25 *гц* до 22 *кгц*. Существенным недостатком генераторов с емкостной обратной связью является относительно большая длительность обратного хода.

12. ПОЛНАЯ СХЕМА ГЕНЕРАТОРА РАЗВЕРТКИ

Описываемый генератор может работать в режиме как периодической, так и однократной ждущей линейной временной развертки. Он имеет следующие характеристики.

Режим периодической развертки:

1) диапазон частот развертки от 1 *гц* до 200 *кгц*;

2) выходное напряжение 250 *в* (в области низких частот).

Режим ждущей развертки:

1) диапазон скоростей развертки от 1 *сек* до 5 *мксек*;

2) время срабатывания 0,25 *мксек*;

3) минимальная амплитуда спускового импульса 3 *в* (при отрицательном импульсе) и 0,25 *в* (при положительном импульсе);

4) выходное напряжение развертки 250 *в*.

Основным преимуществом однократной или ждущей развертки является, как уже говорилось, возможность исследования с ее помощью различных неповторяющихся и непериодических явлений. Кроме того, ждущие развертки очень удобны и при исследовании периодических процессов, так как позволяют рассматривать отдельные детали их, занимающие малую долю периода, в большом временном масштабе. Способ этот носит название местного расширения масштаба времени.

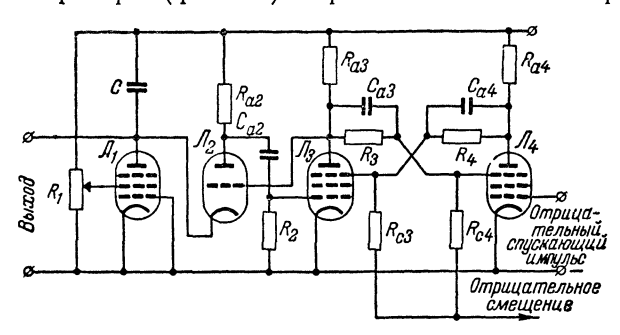
При работе со схемами ждущей развертки следует иметь в виду два основных момента.

Во-первых, так как ждущая развертка спускается самим исследуемым сигналом, то неизбежно некоторое запаздывание начала развертки по отношению к началу исследуемого процесса. Запаздывание это должно быть очень незначительным, в противном случае начало исследуемого процесса не будет видно на экране трубки.

Во-вторых, длительность спускающего импульса не должна быть больше периода развертки, иначе генератор

развертки от одного импульса спустится несколько раз и осциллограмма будет смазанной. Поэтому если по условиям исследования спускающий импульс получается слишком длинным, то его следует подводить к генератору через дифференцирующую цепь с малой постоянной времени.

На фиг. 17 представлена упрощенная схема рассматриваемого генератора развертки. Левая часть схемы (лампы $Л_1$ и $Л_2$) аналогична разобранной нами в § 10 гл. 2 схеме мультивибратора (фиг. 15). Правая часть схемы представ-

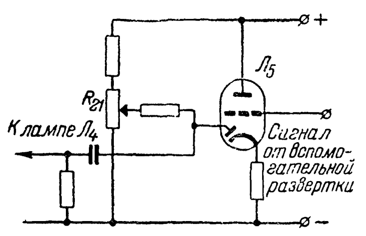


Фиг. 17. Упрощенная схема генератора развертки.

ляет собой тоже разновидность схемы мультивибратора и работает следующим образом. Предположим, что лампа $Л_3$ заперта (провода, соединяющие ее с лампой $Л_2$, временно отсоединены), а лампа $Л_4$ открыта. Запирание лампы $Л_3$ при открытой лампе $Л_4$ объясняется тем, что падение напряжения на анодной нагрузке R_{a4} через потенциометр R_4R_{c3} подается на защитную сетку лампы $Л_3$. Если на управляющую сетку открытой лампы $Л_4$ подать отрицательный импульс, то лампа запрется, напряжение на ее аноде увеличится, и это приведет к отпиранию лампы $Л_3$. Схема перейдет в другое устойчивое состояние, при котором лампа $Л_3$ открыта, а лампа $Л_4$ заперта. В этом состоянии схема останется до тех пор, пока новый отрицательный импульс, поданный теперь уже на сетку лампы $Л_3$, не опрокинет схему в прежнее устойчивое состояние. Присоединение конденсаторов C_{a3} и C_{a4}, устраняющих влияние паразитных емкостей, уменьшает время опрокидывания.

Рассмотрим теперь работу этой схемы в совокупности со схемой левой части (лампы $Л_1$ и $Л_2$). В начальный момент лампа $Л_4$ открыта, а лампа $Л_3$ заперта, конденсатор же C разряжен на лампу $Л_2$. Если на управляющую сетку лампы $Л_4$ подать отрицательный импульс, то схема опро-

кинется, т. е. лампа $Л_3$ откроется. На сетку же лампы $Л_2$ за счет падения напряжения на сопротивлении R_{a3} поступает отрицательный импульс, запирающий ее. Конденсатор C начнет заряжаться через лампу $Л_1$, давая тем самым напряжение для рабочего хода развертки. Когда напряжение на нем достигнет значения, близкого к падению напряжения на R_{a3}, лампа $Л_2$ начнет проводить, благодаря чему на управляющую сетку лампы $Л_3$ через конденсатор C_{a2} поступит отрицательный импульс, опрокидывающий схему правой части развертки в исходное положение. Конденсатор C разряжается, и развертка остается в исходном положении до прихода нового спускающего импульса на сетку лампы $Л_4$.



Фиг. 18. Упрощенная вспомогательная схема для местного расширения масштаба времени.

Таким способом в рассматриваемой схеме осуществляется ждущая развертка. Для получения периодической развертки лампу $Л_4$ отключают (замыкая ее управляющую сетку на землю), а лампа $Л_3$ при этом выполняет те же функции, что и лампа $Л_3$ в схеме на фиг. 15.

Рассмотрим теперь способ получения местного расширения масштаба времени. Способ этот сводится к тому, что на экране трубки фиксируется не весь исследуемый процесс, а только та его часть, которая интересует наблюдателя. При этом необходимо, чтобы начало развертки совпадало с началом выбранной части процесса, а конец развертки с ее концом.

Своевременный спуск развертки может быть достигнут при помощи системы регулируемой задержки времени, благодаря которой спускающий сигнал подается на лампу $Л_4$ с требуемым запозданием относительно начала исследуемого процесса. В качестве такой системы может быть использовано сочетание вспомогательного генератора временной развертки, синхронизированного с исследуемым явлением, и лампы $Л_5$ (фиг. 18). Выходное пилообразное напряжение вспомогательного генератора подается на управляющую сетку лампы $Л_5$. Так как напряжение это пилообразное, то в первый момент потенциал сетки имеет максимальное положительное значение, а затем линейно (во времени) спадает в течение рабочего хода вспомогательной развертки. Триодная часть лампы работает как катодный повторитель,

и при такой форме сигнала вспомогательной развертки напряжение на катодном сопротивлении лампы постепенно падает.

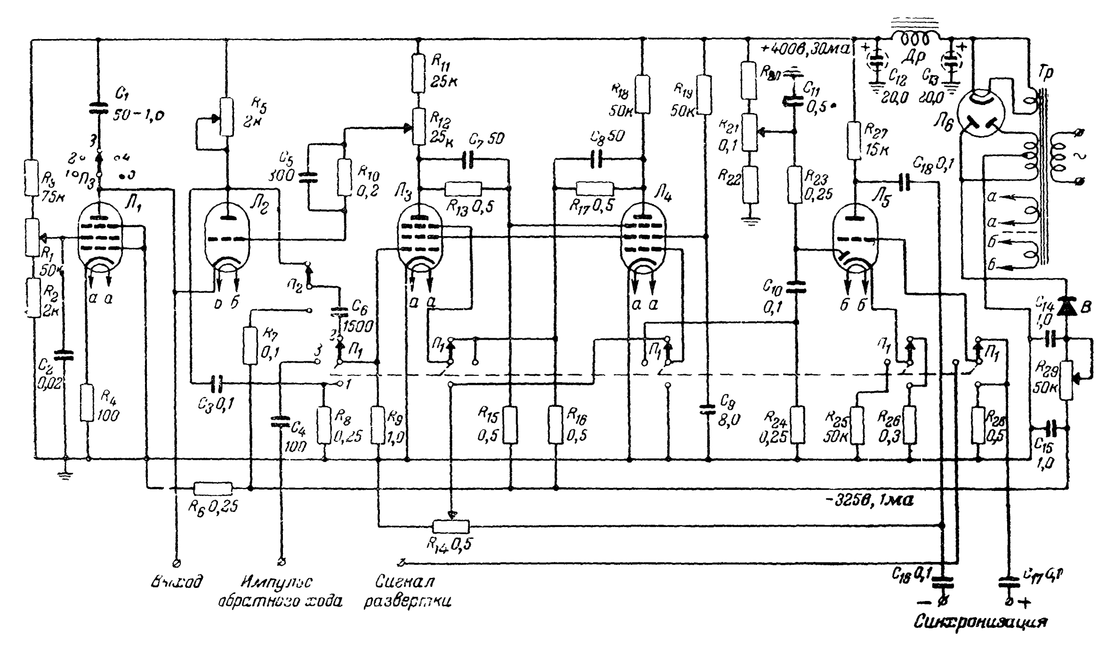
В начале описываемого процесса анод диода лампы отрицателен по отношению к катоду. По мере спадания напряжения на катоде наступает такой момент, когда анод диода лампы становится положительным относительно катода и в цепи диода возникает ток, благодаря чему на сетку лампы $Л_4$ главного генератора развертки посылается отрицательный спускающий импульс. Регулируя потенциометр R_{21}, можно изменять момент начала проводимости диода, а следовательно, и момент спуска главной развертки относительно начала исследуемого процесса. Возврат главного генератора в исходное положение осуществляется путем подачи отрицательного импульса на сетку лампы $Л_3$. Этот импульс берется с разрядной цепи вспомогательной развертки (момент обратного хода). Регулируя потенциометры R_1 и R_{21} (фиг. 17 и 18), можно изменять момент начала и длину участка исследуемого процесса, который рассматривается в расширенном временном масштабе.

При наличии двухлучевой трубки (ее можно заменить электронным переключателем) напряжение от вспомогательной развертки отклоняет один луч, а напряжение основной развертки — другой. На экране при этом будет одновременно получена общая картина исследуемого процесса и детальная осциллограмма любого его участка. Для того чтобы можно было точно определить, какой участок исследуемого процесса рассматривается детально, импульс с анода лампы $Л_4$ подается на модулирующий электрод трубки, и на общей осциллограмме процесса появляется метка, указывающая начало участка, исследуемого более подробно вторым лучом.

Рабочая схема генератора развертки приведена на фиг. 19. Переключатель $П_1$ рассчитан на три положения и предназначен для выбора рода работы генератора: 1) периодическая развертка; 2) ждущая развертка; 3) развертка с расширенным временным масштабом.

Скорость развертки регулируется переключателем $П_3$ и сопротивлением R_1 (плавно). Амплитуда пилообразного напряжения регулируется сопротивлением R_{12}.

Для регулирования амплитуды спускового сигнала в режиме ждущей развертки и синхронизации в режиме периодической развертки предназначены соответственно потенциометры R_5 и R_{14}. Сопротивление R_{21} управляет схемой



Фиг. 19. Полная схема генератора развертки.

в режиме местного расширения масштаба времени, а выключатель $П_2$ служит для возврата вручную схемы ждущей развертки в исходное положение.

Величины сопротивлений R_{20} и R_{22} зависят от амплитуды напряжения вспомогательного генератора развертки. Амплитуда напряжения не должна превышать 300 *в*, так как иначе триодная часть лампы $Л_5$ не будет работать как катодный повторитель. Сопротивления R_{20} и R_{22} подбираются так, чтобы напряжение на верхней и нижней точках потенциометра R_{21} были соответственно равны максимальному и минимальному напряжениям, приложенным к управляющей сетке.

Вспомогательный генератор пилообразной развертки может быть любого типа, в том числе и газотронный.

В схеме на фиг. 19 применяются следующие лампы: $Л_1$ — 6Ж8; $Л_2$ — 6Ф6С; $Л_3$ и $Л_4$ — 6Ж4, 6Ж1П или 6П9; $Л_5$ — 6Г1, 6Г2 или 6Г7; $Л_6$ — 5Ц4С.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

УСИЛИТЕЛИ

13. ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Подавляющее большинство осциллографических усилителей являются усилителями напряжения, ибо их задача заключается в увеличении амплитуды исследуемого (или измеряемого) напряжения, поданного на входные зажимы осциллографа. Эти усилители должны обладать большим коэффициентом усиления, так как входное напряжение может составлять лишь доли вольта, тогда как напряжение на выходе усилителя (т. е. на отклоняющих пластинах трубки) должно быть порядка сотен вольт. Это первое требование, которое к ним предъявляется.

Так как осциллограф является измерительным прибором, то особую важность приобретает второе требование, а именно: неискаженное воспроизведение на выходе формы входного напряжения.

Выполнение этих двух требований осложняется чрезвычайно широким диапазоном частот, которые должны неискаженно усиливаться. Действительно, для исследования, например, в области физиологии приходится усиливать микротоки с частотой колебаний в доли герца, а для исследования импульсных явлений частота усиливаемых колебаний достигает десятков мегагерц. Поэтому схемы осциллогра-

фических усилителей обладают некоторыми специфическими особенностями.

Следует, однако оговориться, что требованиям в отношении широкого диапазона усиливаемых частот (так называемые широкополосные усилители) должны отвечать лишь те усилители, которые конструируются либо для очень универсальных осциллографов (предназначенных для работы как на высоких, так и на низких частотах), либо для импульсных осциллографов.

Работа усилительной схемы может быть оценена при помощи частотной и фазовой характеристик.

Частотной характеристикой называется зависимость величины усиления устройства (коэффициента усиления) от частоты усиливаемых синусоидальных колебаний.

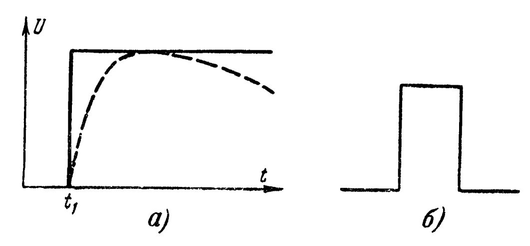
Фазовой характеристикой называется зависимость величины угла фазового сдвига от частоты усиливаемых колебаний. Для того чтобы фазовые искажения отсутствовали, нужно, чтобы фазовый сдвиг между отдельными частотами был равен нулю, либо пропорционален частоте этих колебаний. Это условие особенно важно при прохождении через усилитель несинусоидальных по форме колебаний, которые можно представить в виде совокупности большого числа синусоид, различных по частоте, амплитуде и углу сдвига фазы. Если (в идеальном случае) амплитуды этих составляющих усиливаются одинаково на всех частотах, но угол сдвига фазы между ними изменяется в усилителе не пропорционально частоте, то форма выходного сигнала будет отличаться от формы сигнала на входе усилителя.

Кроме частотных и фазовых искажений, в усилителе могут быть еще два вида искажений, один из которых — нелинейные искажения. Этот вид искажений возникает в результате непрямолинейности ламповых характеристик. При большой амплитуде напряжения, подаваемого на управляющую сетку усилительной лампы, крайние значения его выходят за пределы линейного участка характеристики. При таких значениях сеточного напряжения изменение анодного тока перестает линейно следовать за изменением напряжения на сетке. Это и приводит к нелинейным искажениям сигнала, проходящего через усилительную лампу.

Другой вид искажений выражается в наличии электрических шумов, под которыми понимают любые посторонние сигналы, существующие на выходе усилителя при отсутствии полезных сигналов на входе. При прохождении через усилитель исследуемых сигналов шумы складываются с ни-

ми и за счет этого напряжение на выходе усилителя отличается по форме от напряжения на его входе. Причины возникновения шумов: пульсация питающего напряжения, микрофонный эффект, влияние близко расположенных источников переменных электрических и магнитных полей, электрические флюктуации в электронных лампах и сопротивлениях.

Обычно для оценки качества широкополосных усилителей удобнее пользоваться не частотными и фазовыми характеристиками, а так называемой переходной характеристикой, которая может быть получена следующим способом.



Фиг. 20. Форма сигналов, применяющихся для исследования усилителей.

а — перепад напряжения; *б* — прямоугольный импульс.

Предположим вначале, что на входе усилителя нет никакого напряжения. Затем в какой-то момент времени t_1 мгновенно подадим на его вход постоянное напряжение, величина которого в дальнейшем остается неизменной (фиг. 20,*а*). Такая форма напряжения называется перепадом напряжения. Совершенно очевидно, что никакой усилитель не может в точности, без искажений, воспроизвести на выходе такую форму сигнала, так как, во-первых, имеющиеся в схеме емкости препятствуют мгновенному изменению напряжений в содержащих их цепях и поэтому напряжение на выходе возрастает не мгновенно, а только через некоторый промежуток времени, называемый временем установления. Во-вторых, опять-таки из-за наличия в цепях усилителя емкостей напряжение на выходе не будет оставаться постоянным после подачи на вход перепада напряжения, а начнет спадать.

Благодаря этому напряжение на выходе усилителя примет вид, показанный на фиг. 20,*а* пунктиром. Кривая, показывающая изменение напряжения на выходе усилителя, получающееся при подаче на его вход перепада напряжения, и называется переходной характеристикой. По степени при-

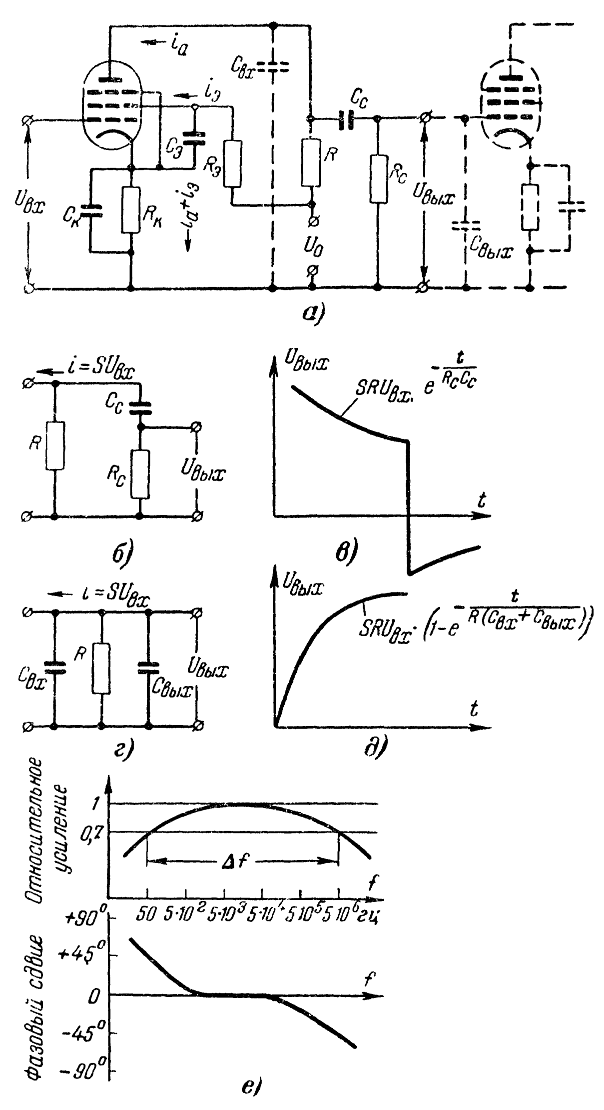
ближения ее к форме входного перепада напряжения можно судить о возможности усиливать очень быстрые и очень медленные изменения напряжений, судить о вносимых усилителем искажениях на высоких и низких частотах.

На практике для исследования усилителей обычно пользуются прямоугольным импульсом (фиг. 20,*б*), который представляет собой сумму двух перепадов: одного положительного (при котором напряжение на входе повышается на какую-то величину), а другого отрицательного (при котором напряжение на входе уменьшается на ту же величину).

14. ИСКАЖЕНИЯ В УСИЛИТЕЛЯХ

Рассмотрим несколько подробнее причины искажения прямоугольных импульсов при прохождении их через усилитель. На фиг. 21,*а* представлена обычная схема реостатного усилителя, а на фиг. 21,*б* — его эквивалентная схема.

Цепь R_cC_c представляет собой делитель напряжения. Выходное напряжение каскада $U_{вых}$ снимается с R_c. Для того чтобы не было бесполезного падения напряжения на конденсаторе C_c, емкость его должна быть достаточно велика. Сопротивление его (а оно и определяет величину падения напряжения на нем) зависит от частоты проходящего через него тока. Поэтому на низких частотах значительная часть напряжения упадет на конденсаторе и падение напряжения $U_{вых}$ на R_c составит лишь часть общего падения напряжения в цепи, т. е. усиление каскада по сравнению с усилением на более высоких частотах (на которых сопротивление C_c было малым) уменьшится. Кроме уменьшения коэффициента усиления на низких частотах, наличие емкости C_c искажает форму проходящего через каскад прямоугольного импульса, так как нарастание и спадание напряжения на конденсаторе при его заряде и разряде происходят не мгновенно, а по экспоненциальному закону. При подаче на управляющую сетку лампы перепада напряжения (прямоугольного импульса) начнет протекать ток $SU_{вх}$, создающий падение напряжения $SRU_{вх}$. Это напряжение является источником для заряда конденсатора C_c. Напряжение же на сопротивлении R_c будет определяться разностью между $SRU_{вх}$ и напряжением на конденсаторе C_c, т. е. зависеть от постоянной R_cC_c. Таким образом, после появления напря-



Фиг. 21. К разбору высокочастотных и низкочастотных искажений в усилительных каскадах.

а — принципиальная схема реостатного усилительного каскада: *б* — его эквивалентная схема на низких частотах; *в* — низкочастотные искажения прямоугольного импульса, *г* — эквивалентная схема на высоких частотах, *д* — высокочастотные искажения прямоугольного импульса, *е* — частотная и фазовая характеристики реостатного усилительного каскада.

жения $SRU_{вх}$ напряжение на конденсаторе C_c постепенно нарастает, а напряжение на управляющей сетке лампы следующего каскада уменьшается, что ведет к уменьшению усиления этого каскада. В результате этого искажается „плоская“ вершина прямоугольного импульса.

После прохождения импульса напряжение на сетке лампы спадет не мгновенно, так как для разряда C_c требуется некоторое время. Быстрота уменьшения напряжения на этом конденсаторе зависит от постоянной времени разрядной цепи. При этом должно соблюдаться условие, согласно которому сумма напряжений на $C_c - R_c$ равна напряжению на R. Напряжение на R после прохождения импульса равно нулю, ток, заряжающий конденсатор, прекратился, и конденсатор C_c оказывается замкнутым на сопротивления R и R_c. Начинается разряд конденсатора. Направление тока разряда противоположно зарядному, поэтому падение напряжения на сопротивлении R_c теперь противоположно по знаку. Это означает, что после прекращения действия входного сигнала напряжение на выходе усилителя не исчезнет, а изменит знак и начнется довольно длительный спад (фиг. 21,*в*). Форма импульса будет искажена тем меньше, чем больше постоянная R_cC_c по сравнению с длительностью импульса, так как при большой постоянной времени напряжение на вершине не успеет сколько-нибудь существенно измениться за время импульса. По той же причине будет мал и отрицательный выброс характеристики.

Угол сдвига фаз в цепи R_cC_c при низких частотах определится отношением реактивного сопротивления к активному:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{2\pi f C_c R_c}.$$

Угол сдвига фазы возрастает с уменьшением частоты.

На высоких частотах влияние C_c будет незначительно и его можно не учитывать. Сопротивление R_c тоже достаточно велико по сравнению с R и его можно также исключить из эквивалентной схемы (фиг. 21,*г*). Основную роль в возникновении искажений на высоких частотах играют входные и выходные емкости ламп и монтажа, обозначенные на эквивалентной схеме $C_{вых}$ и $C_{вх}$.

По мере увеличения частоты сопротивление емкости $C_{вых}$ и $C_{вх}$ уменьшается и они все больше шунтируют нагрузочное сопротивление R. Общее сопротивление параллельно соединенных R и $C_{вых}+C_{вх}$ по мере увеличения частоты уменьшается, поэтому уменьшается и падение напряжения на этой цепочке, а следовательно, и коэффициент усиления каскада.

Несколько ограничить это явление можно путем уменьшения величины сопротивления R, тогда шунтирующее действие емкостей $C_{вых}$ и $C_{вх}$ будет сказываться не так резко. Однако уменьшение величины R ведет к уменьшению коэффициента усиления каскада вообще на всех частотах.

Влияние $C_{вых}$ и $C_{вх}$ на прохождение через усилитель переднего фронта прямоугольного импульса выразится в следующем. При подаче на сетку лампы перепада напряжений возникший в анодной цепи ток в первый момент не создаст в нагрузке никакого падения напряжения, ибо в первое мгновение сопротивление емкостей $C_{вых}$ и $C_{вх}$, шунтирующих R, равно нулю. Поэтому весь ток потечет через эти емкости, заряжая их. По мере заряда распределение токов между емкостями и сопротивление R меняется. Все бо́льшая часть тока начинает протекать по сопротивлению, и падение напряжения на нем увеличивается. По истечении некоторого промежутка времени заряд емкости заканчивается и весь ток $SU_{вх}$ будет протекать по сопротивлению R, создавая выходное напряжение $SRU_{вх}$. Быстрота установления напряжения на емкостях $C_{вых}$ и $C_{вх}$ зависит от постоянной времени $R(C_{вых}+C_{вх})$.

Таким образом, вместо крутого фронта входного сигнала напряжение на выходе не сразу достигает максимального значения (фиг. 21,*д*). Чем меньше постоянная $R(C_{вых}+C_{вх})$, тем быстрее напряжение на выходе достигает максимальной величины.

Величина фазового сдвига на высоких частотах равна отношению активного сопротивления цепи к реактивному:

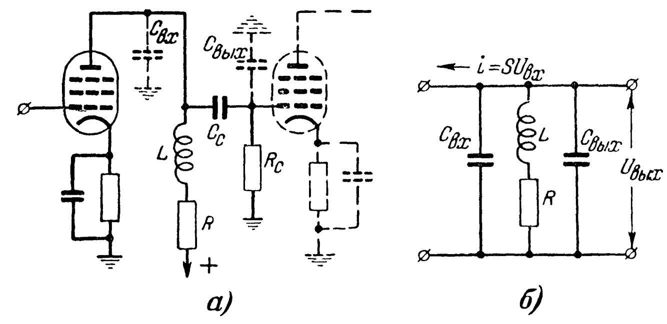
$$\operatorname{tg}\varphi = -2\pi f R(C_{вых}+C_{вх}).$$

На фиг. 21,*е* приведены примерная частотная и фазовая характеристики рассматриваемого усилительного каскада, а на фиг. 21,*д* — переходная характеристика.

Так как обеспечить необходимое усиление одним каскадом удается редко, то приходится прибегать к многокаскадному усилению, что наряду с увеличением общего коэффициента усиления приводит к уменьшению полосы пропускаемых усилителем частот. Спад напряжения на вершине также увеличивается.

15. ЧАСТОТНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ В ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЯХ

Как уже указывалось в предыдущем параграфе, с увеличением коэффициента усиления каскада сужается диапазон одинаково усиливаемых частот. Поэтому при необходимости получить одновременно большое усиление и широкий диапазон пропускаемых усилителем частот приходится прибегать к методам частотной компенсации.



Фиг. 22. Схемы каскада с параллельной высокочастотной компенсацией.

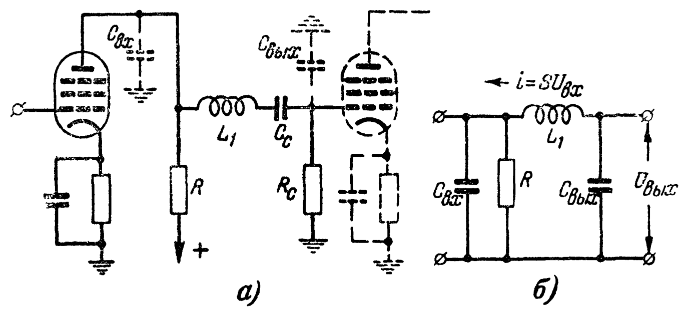
а — принципиальная; *б* — эквивалентная.

На фиг. 22,*а* приведена схема усилителя с параллельной схемой компенсации высоких частот, а на фиг. 22,*б* — его эквивалентная схема.

На низких и средних частотах сопротивление шунтирующих емкостей $C_{вых}$ и $C_{вх}$ велико, сопротивление индуктивности L в последовательной цепи мало, поэтому ими можно пренебречь и считать, что нагрузкой является только сопротивление R. При увеличении частоты сопротивление емкостей сильно уменьшается и частотная характеристика при отсутствии индуктивности должна была бы спадать. Однако благодаря наличию соответствующим образом подобранной индуктивности в области частот, усиление на которых начинает спадать, проявляются резонансные свойства парал-

лельного колебательного контура, образованного L, C и R.

Как известно, сопротивление параллельного колебательного контура вблизи резонансной частоты наибольшее, а усиление каскада прямо пропорционально нагрузочному сопротивлению, т. е. для постоянства усиления необходимо, чтобы величина нагрузки на всех частотах оставалась постоянной. Увеличение сопротивления контура, который в данной схеме является нагрузкой, по мере приближения



Фиг. 23. Схемы усилительного каскада с последовательной высокочастотной компенсацией.

а — принципиальная схема; *б* — эквивалентная схема.

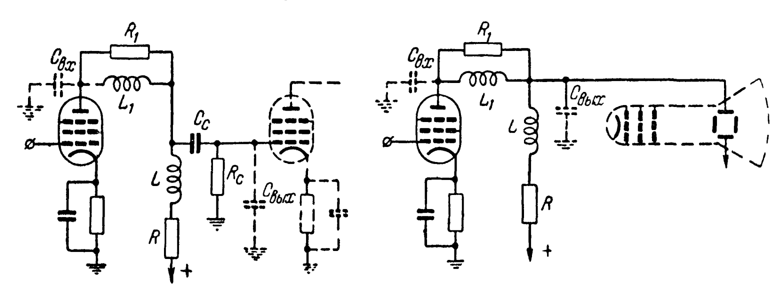
к резонансной частоте компенсирует шунтирующее действие емкости $C_{вых}$ и $C_{вх}$ на высоких частотах. Таким образом, общая величина нагрузки остается постоянной, и полоса частот, пропускаемых усилителем, становится шире. Время установления при этом уменьшается.

Резонансная частота контура выбирается близкой к верхней граничной частоте. Понижение резонансной частоты вызывает ненужный подъем частотной характеристики в области высоких частот. Если же собственная частота контура выбрана выше верхней граничной частоты, то между частотами равномерного усиления и частотой, при которой начинается компенсация, появится провал характеристики. Так как любое непостоянство усиления в заданном диапазоне частот приводит к искажению формы усиливаемого сигнала, то понятно, что появление пиков или провалов частотной характеристики крайне нежелательно.

На частотах, превышающих резонансную, усиление спадает, так как сопротивление контура снова уменьшается.

На фиг. 23 приведены схемы другой высокочастотной компенсации. Индуктивность L_1 включается в них последовательно, поэтому и компенсация называется последо-

вательной. В области низких и средних частот сопротивление индуктивности L_1 очень мало, а сопротивление емкостей $C_{вых}$ и $C_{вх}$ очень велико и усиление на этих частотах определяется только величиной сопротивления нагрузки R. По мере увеличения частоты емкостное сопротивление $C_{вх}$ (выходная емкость лампы + емкость монтажа левее индуктивности) уменьшается и начинает



Фиг. 24. Схемы усилительных каскадов с последовательно-параллельной высокочастотной компенсацией.

сказываться ее шунтирующее действие. Но при этом емкость $C_{вх}$ как бы отделена от емкости $C_{вых}$ индуктивностью L_1, сопротивление которой при повышении частоты возрастает (так как частота приближается к резонансной частоте последовательного колебательного контура $L_1C_{вых}$). Емкость $C_{вх}$ меньше, чем суммарная емкость $C_{вых} + C_{вх}$, поэтому частоты, на которых сопротивление $C_{вх}$ значительно уменьшается, несколько выше, чем при шунтировании нагрузки R суммарной емкостью.

Необходимо отметить, что такие схемы компенсации очень критичны к соотношению величин емкостей $C_{вых}$ и $C_{вх}$ и индуктивности L_1. Каждому значению отношения емкостей $C_{вых}/C_{вх}$ соответствует вполне определенное значение индуктивности L_1, при котором выходное напряжение остается неизменным в максимально возможном диапазоне частот. Если при выбранной индуктивности отношение емкостей изменится, то резонанс контура $L_1C_{вых}$ может наступить на более низкой или бóлее высокой частоте, что приведет к появлению искажений.

Схемы с последовательной компенсацией применяются для связи между каскадами. Другая схема (фиг. 24) с последовательно-параллельной высокочастотной компенсацией

используется как для междукаскадных связей, так и в оконечных каскадах. Она содержит две индуктивности L и L_1 и соединяет в себе как бы обе (фиг. 22 и 23) схемы компенсации.

Схемы последовательной и последовательно-параллельной компенсации при правильном подборе элементов могут дать значительный (до 20%) выигрыш в усилении по сравнению со схемой параллельной компенсации.

Рассмотрим низкочастотную компенсацию. Низкочастотные искажения появляются в результате того, что сопротивление переходного конденсатора по мере его зарядки увеличивается, благодаря чему на нем происходит падение напряжения и величина выходного напряжения на низких частотах уменьшается. При этом появляются и фазовые искажения. Уменьшение усиления на низких частотах и наличие фазовых сдвигов приводят к тому, что при поданном на вход усилителя перепаде напряжения выходное напряжение по достижении максимального значения дальше не остается постоянным, а медленно спадает (фиг. 21,*в*). Быстрота спадания определяется постоянной времени $R_c C_c$ (чем больше $R_c C_c$, тем медленнее спадает напряжение).

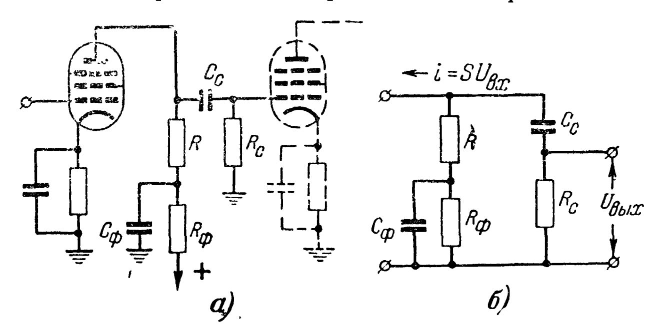
Так как емкость конденсатора C_c не может быть выбрана более 0,05—0,1 *мкф*, а величина сопротивления R_c — больше 0,5—1,0 *мгом*, потому что при слишком большой его величине усиление становится неустойчивым, то для уменьшения низкочастотных искажений приходится применять в широкополосных усилителях специальные схемы низкочастотной компенсации.

На фиг. 25 приведена одна из возможных схем. Допустим, что $R_{ф}$ очень велико, и поэтому оно не оказывает влияния на процесс зарядки конденсатора $C_{ф}$. Так как в момент подачи на вход каскада перепада напряжения сопротивление конденсаторов C_c и $C_{ф}$ весьма малы, то входное напряжение, в основном, определится только величиной нагрузки R. По мере зарядки конденсатора C_c его сопротивление возрастает и часть напряжения, приложенного к делителю $R_c — C_c$, выделится на этом конденсаторе. Одновременно с этим происходит зарядка конденсатора $C_{ф}$. Его сопротивление при этом также увеличивается, напряжение на нем возрастает, и поэтому на последовательно соединенных R и $C_{ф}$ увеличивается общее падение напряжения.

Таким образом, по мере выделения части выходного напряжения на конденсаторе C_c напряжение, подводимое к делителю $R_c - C_c$, тоже повышается, что замедляет быстроту спада выходного напряжения. Для правильной компенсации низкочастотных искажений необходимо, чтобы было соблюдено условие

$$C_ф R = C_c R_c.$$

Величина $R_ф$, к сожалению, не может быть очень большой, так как через это сопротивление протекает посто-



Фиг. 25. Схемы усилительного каскада с низкочастотной компенсацией.

а — принципиальная схема; *б* — эквивалентная схема.

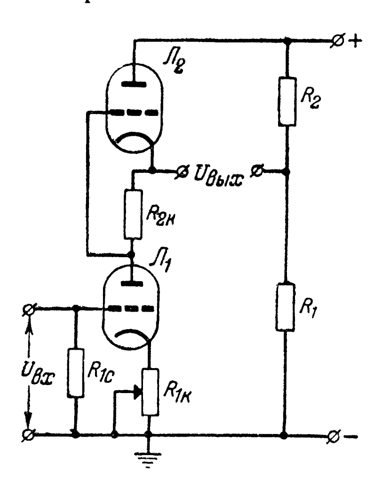
янная составляющая анодного тока, и чем больше $R_ф$, тем меньше напряжение на аноде лампы. Практически $R_ф$ выбирают в пределах от $2R$ до $5R$. Сопротивление $R_ф$ шунтирует конденсатор $C_ф$. Поэтому сопротивление этой ячейки не может увеличиваться беспредельно, а следовательно, и компенсирующее напряжение не может сколь угодно долго следовать за увеличением напряжения на конденсаторе C_c, и через определенный промежуток времени увеличение сопротивления конденсатора C_c все же приведет к спаданию выходного напряжения.

16. УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При необходимости усиления весьма низкочастотных напряжений способ компенсации, описанный в предыдущем параграфе, оказывается непригодным. В таких случаях приходится применять особый вид электронного усилителя —

усилитель постоянного тока, который отличается от обычного усилителя тем, что в нем отсутствуют переходные емкости, т. е. осуществлена гальваническая связь между каскадами. Поэтому диапазон одинаково усиливаемых таким усилителем частот простирается вплоть до постоянного тока.

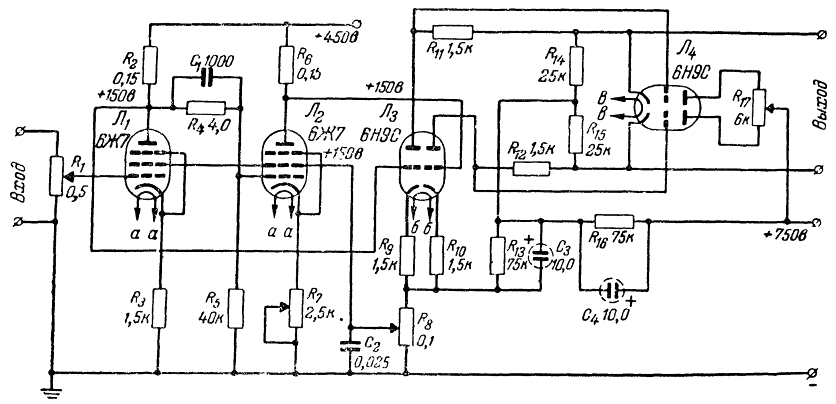
Так как в усилителях постоянного тока осуществляется непосредственная гальваническая связь между каскадами, то любое случайное изменение анодного тока лампы, вызванное любым случайным явлением, будь то флюктуации электронной эмиссии, старение деталей, изменение параметров схемы, вызванное колебаниями температуры окружающего воздуха и нагревом деталей, изменение величины питающего напряжения, плохая его фильтрация и т. д., приводит к изменению выходного напряжения. Эти случайные изменения выходного напряжения искажают форму полезного выходного сигнала. Если же эти явления будут носить длительный, но неустойчивый характер, то, кроме искажения формы сигнала, будет наблюдаться еще и сползание нуля, т. е. изменение начального уровня усиления (смещение нулевой линии осциллограммы), что особенно неприятно, так как осциллограф является измерительным прибором. Поэтому при работе с усилителем постоянного тока приходится все время следить за постоянством его усиления и в случае нужды регулировать его в процессе работы. Кроме того, при конструировании таких усилителей должны быть приняты меры для повышения стабильности их работы (хорошая вентиляция прибора, амортизация ламп входных каскадов для уменьшения микрофонного эффекта, постоянство питающего напряжения и малая его пульсация).



Фиг. 26. Принципиальная схема усилителя постоянного тока.

В настоящее время разработано большое количество схем усилителей постоянного тока, работающих достаточно стабильно. Рассмотрим одну из наиболее часто встречающихся — схему последовательного баланса (фиг. 26).

Схема построена по принципу уравновешенного моста, состоящего из ламп $Л_1$ и $Л_2$, соединенных последовательно, и двух сопротивлений R_1 и R_2. Выходное напряжение снимается с диагонали моста. Так как внутреннее сопротивление ламп $Л_1$ и $Л_2$ и сопротивлений R_1 и R_2 одинаковы, то при отсутствии входного напряжения $U_{вх}$ схема остается в равновесии даже при изменении напря-



Фиг. 27. Практическая схема усилителя постоянного тока.

жения питания. Для балансировки схемы (установки нуля на экране осциллографа) сопротивление $R_{1к}$ должно быть переменным.

На фиг. 27 приведена практическая схема усилителя постоянного тока, работающего по принципу последовательного баланса. Частотная характеристика усилителя остается линейной в полосе частот от 0 до 90 *кгц*. На более высоких частотах усиление спадает, так как начинает сказываться шунтирующее действие паразитных емкостей ламп и монтажа. Усилитель состоит из двух каскадов. В первом работают лампы $Л_1$ и $Л_2$, причем лампа $Л_2$ служит для переворачивания фазы. В выходном каскаде работают лампы $Л_3$ и $Л_4$. Регулировка усиления производится сопротивлением R_1, а балансировка усилителя сопротивлениями R_7, R_8 и R_{17}. Анодные цепи усилителя питаются от двух выпрямителей (450 и 750 *в*).

В заключение разбора схем осциллографических усилителей остановимся на требованиях, предъявляемых к их оконечным каскадам. Как уже говорилось в гл. 1, чтобы избежать явления астигматизма и прочих искажений

в электроннолучевой трубке, необходимо на ее отклоняющие пластины подавать симметричные отклоняющие напряжения. Поэтому желательно, чтобы выходной каскад усилителя был собран по двухтактной схеме. В случае же однотактного оконечного каскада на одну отклоняющую пластину трубки напряжение следует подавать непосредственно, а на другую через одноламповый фазопереворачивающий каскад, т. е. через усилитель с коэффициентом усиления, равным единице.

Аналогичные требования предъявляются также и к усилительным каскадам генераторов развертки.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Устройства, рассматриваемые в этой главе, не являются обязательными узлами осциллографа. Однако если в распоряжении радиолюбителя будут эти вспомогательные устройства, то осциллографические методы исследования станут более удобными и наглядными, а точность измерений значительно возрастет.

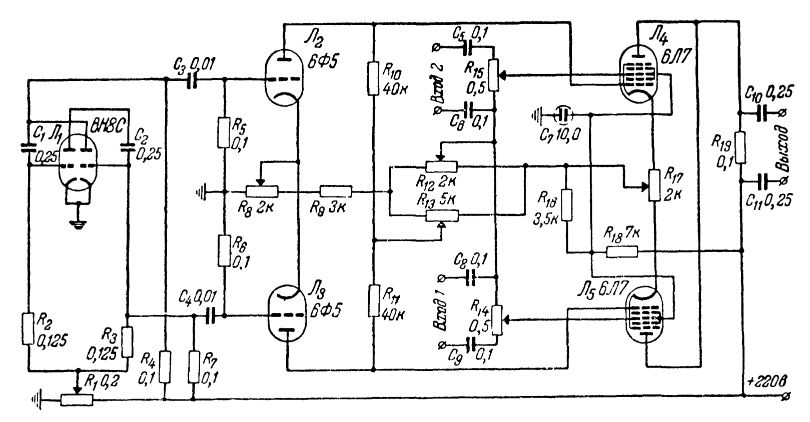
17. ЭЛЕКТРОННЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ

Электронный переключатель позволяет производить одновременное наблюдение на однолучевом осциллографе двух (или нескольких) процессов.

Работа схемы переключателя основана на следующем принципе. Два независимых напряжения, подлежащих исследованию или сравнению, подаются на третьи сетки ламп $Л_4$ и $Л_5$, работающих на общую нагрузку (фиг. 28). Для управления работой этих ламп используются импульсы напряжения, вырабатываемые симметричным мультивибратором на лампе 6Н8С, которые затем подаются на управляющие сетки ламп $Л_2$ и $Л_3$.

Аноды ламп $Л_2$ и $Л_3$ непосредственно связаны с управляющими сетками ламп $Л_4$ и $Л_5$. Когда одна из ламп, например $Л_2$, открыта (вследствие положительного сигнала на ее управляющей сетке), то связанная с ней лампа $Л_4$ заперта из-за значительного падения напряжения на сопротивлении R_{10} от анодного тока лампы $Л_2$. В то же время лампа $Л_3$ заперта, так как импульс, снимаемый с другого анода мультивибратора, имеет противоположную поляр-

ность (в данном случае отрицательную). Поэтому связанная с ней лампа $Л_5$ открыта, так как на ее сетке отсутствует прямоугольный импульс запирающего напряжения. Полярность импульсов на анодах мультивибратора попеременно меняется, поэтому лампы $Л_4$ и $Л_5$ работают попеременно и на отклоняющие пластины трубки подается то одно, то другое исследуемые напряжения. Вследствие быстрого переключения этих напряжений, наблюдатель видит на экране неподвижное изображение двух процессов, которые мож-



Фиг. 28. Схема двухканального электронного переключателя.

но совмещать, регулируя потенциометр R_{17}. Частота переключений регулируется при помощи сопротивления R_1, и при указанных значениях схемы лежит в пределах от 10 до 120 *гц*. Амплитуда изображения каждого из каналов регулируется сопротивлениями R_{15} и R_{14}.

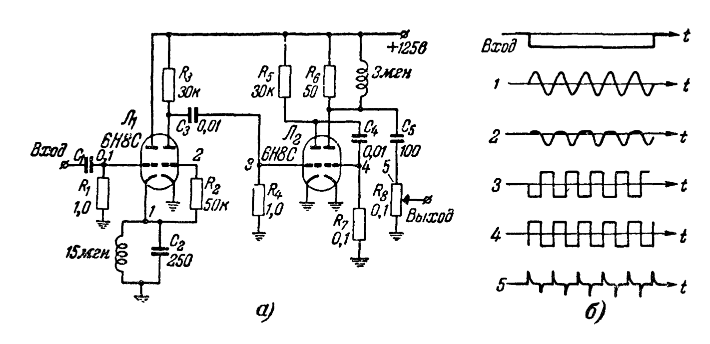
Электронные переключатели имеют очень крупный недостаток, заключающийся в том, что они могут работать достаточно надежно лишь при невысоких частотах переключения и, следовательно, позволяют исследовать лишь относительно медленные и преимущественно периодические процессы.

18. КАЛИБРАТОРЫ ДЛЯ ОСЦИЛЛОГРАФА

Иногда при осциллографировании какого-нибудь процесса, в особенности непериодического, возникает необходимость в точном определении всех его временных параметров. Если при периодическом процессе, зная частоту развертки, можно сравнительно легко построить временную

шкалу осциллограммы, то для построения такой шкалы при непериодических процессах требуется наличие специальных калибровочных устройств.

Схема одного из таких устройств изображена на фиг. 29. В исходном положении левая половина лампы $Л_1$ открыта. В нужный момент на ее сетку поступает отрицательный запирающий импульс. Прекращение прохождения тока через



Фиг. 29. Генератор масштабных меток.

а — принципиальная схема генератора; *б* — форма напряжений на различных участках схемы.

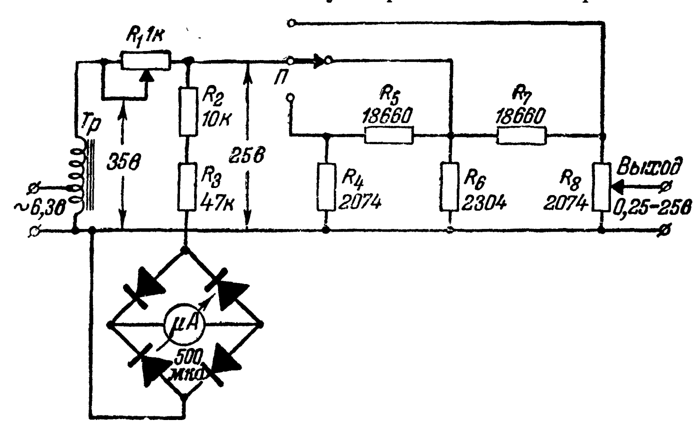
эту половину лампы вызовет в контуре, находящимся в ее катодной цепи, возникновение медленно затухающих колебаний. Колебания эти продолжаются до тех пор, пока лампа заперта, так как если лампа откроется, то контур окажется шунтированным ее малым выходным сопротивлением. Затем эти колебания преобразуются в импульсы прямоугольной формы. Благодаря наличию в анодной цепи правой половины лампы $Л_2$ индуктивности полученные прямоугольные импульсы дифференцируются и в виде положительных и отрицательных пиков подаются на управляющий электрод трубки, вызывая тем самым появление на экране темных и светлых отметок. Временной интервал между двумя ближайшими темными или светлыми отметками будет равен периоду колебаний в контуре в цепи катода левой половины лампы $Л_1$. Так как для удобства отсчета желательно, чтобы эти интервалы были равны 1 *мксек*, то, следовательно, собственная частота колебаний контура должна быть

$$f_0 = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 \text{ гц} = 1 \text{ мггц}.$$

Количество меток на экране осциллографа будет зависеть от добротности этого контура и определится примерно такой зависимостью:

$$n = \frac{Q}{3}.$$

Таким образом, если добротность контура порядка 100, то на экране будут видны около 30 одномикросекундных отметок, что составляет общую протяженность временной ка-



Фиг. 30. Калибратор напряжения.

либрованной шкалы 30 *мксек* и вполне достаточно для большинства практических целей. Соответствующей длительностью должен обладать и спускающий прямоугольный импульс.

На фиг. 30 приведена схема другого калибратора, предназначенного для определения величины осциллографируемого сигнала путем сравнения отклонения луча на экране, вызываемого этим сигналом, с отклонением луча, вызываемого выходным напряжением калибратора.

В качестве измерительного прибора используется микроамперметр на 500 *мка*, по показаниям которого входное напряжение поддерживается равным 25 *в* при помощи сопротивления 1 *ком*. На ось потенциометра для плавной регулировки выходного напряжения насаживается лимб с градуированной в вольтах шкалой. При градуировке потенциометра необходимо отсоединить его от схемы, чтобы исключить влияние шунтирующих сопротивлений.

Подключение этого калибратора к осциллографу удобно производить через электронный переключатель, на вто-

рой вход которого подается исследуемое напряжение. Затем, регулируя выходное напряжение калибратора, добиваются того, чтобы изображения исследуемого и калибровочного сигналов были одинаковы по амплитуде. В этом случае величина исследуемого напряжения может быть определена в вольтах непосредственно по лимбу калибратора.

19. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ С ЭКРАНА ОСЦИЛЛОГРАФА

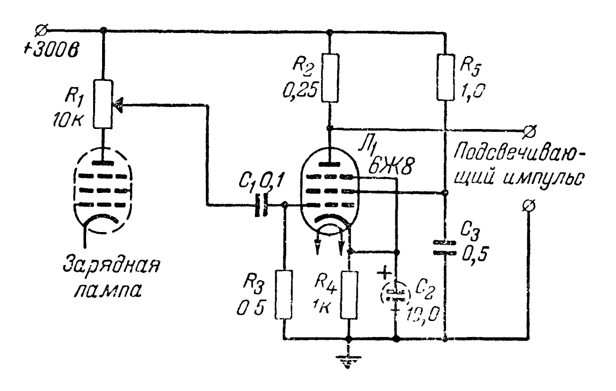
Часто для детального анализа осциллограммы какого-либо процесса, в особенности однократного, желательно иметь фотографию кривой, полученной на экране осциллографа.

Для фотографирования осциллограмм непосредственно с экрана можно воспользоваться любым фотоаппаратом, однако желательно, чтобы светосила его объектива была значительна, а негативный материал обладал высокой чувствительностью. Это позволит производить съемку с короткой выдержкой, что очень важно для получения четких фотографий осциллограмм быстропеременных процессов. Кроме того, для получения четких фотографий очень важным условием является неподвижность осциллограммы на экране трубки в течение всего времени экспозиции. При строго периодических процессах и при надежной синхронизации выполнение этого условия не представляет трудностей. Для фотографирования же осциллограмм однократных процессов приходится применять устройства для автоматического открывания затвора фотоаппарата в нужный момент времени. Однако таким опособом нельзя фотографировать однократные явления короче $^1/_{1000}$ *сек* (эта предельная скорость срабатывания фотографических затворов).

Более быстрые процессы удобнее фотографировать следующим образом. Луч в электроннолучевой трубке предварительно запирают достаточно большим отрицательным смещением, а затем путем подачи в соответствующий момент времени на управляющий электрод прямоугольного положительного импульса отпирают трубку на время длительности исследуемого колебания. Затвор фотоаппарата при этом должен открываться заранее.

На фиг. 31 приведена схема подобного устройства. Сопротивление $R_1 = 10$ *ком* включается последовательно с зарядной лампой в емкостном генераторе развертки. Ток в этой цепи протекает только в то время, когда происходит заряд конденсатора через лампу (т. е. во время рабо-

чей части периода развертки), и имеет постоянную величину благодаря вышеуказанным (см. стр. 27) свойствам зарядной лампы. При этом на сопротивлении возникает импульс напряжения, имеющий прямоугольную форму, ко-



Фиг. 31. Вспомогательная схема для фотографирования с экрана осциллографа.

торый затем усиливается лампой $Л_1$ и снимается с ее анода в положительной полярности. Амплитуда импульса определяет яркость изображения на экране трубки и может регулироваться сопротивлением R_1.

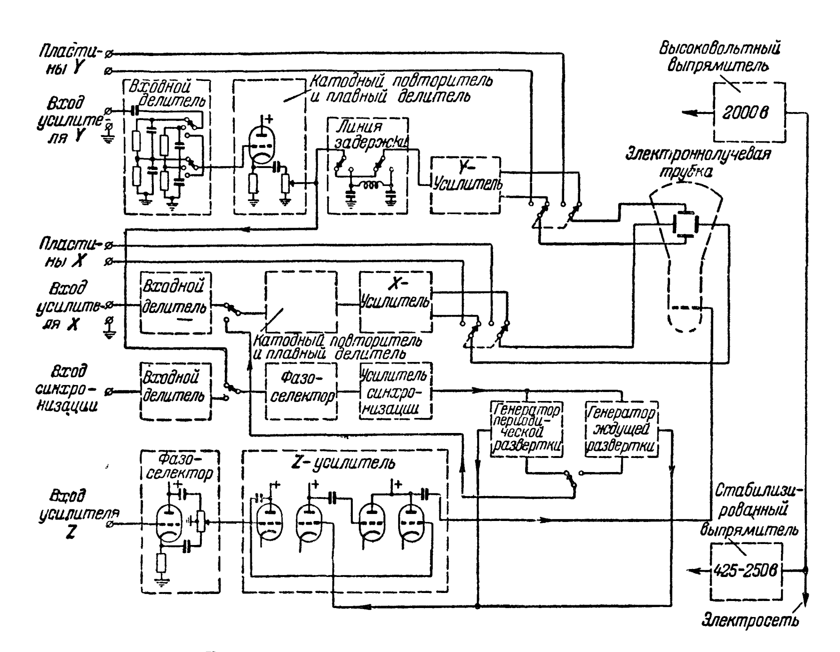
ГЛАВА ПЯТАЯ

ПОЛНАЯ СХЕМА ОСЦИЛЛОГРАФА

Рассмотрим блок-схему (фиг. 32), по которой может быть собран электронный осциллограф, максимально удовлетворяющий требованиям радиолюбителя и позволяющий проводить самые разнообразные исследования и измерения.

Очевидно, что универсальный осциллограф, предназначенный для осциллографирования как периодически повторяющихся, так и всякого рода одиночных или нерегулярно повторяющихся импульсов, должен иметь периодическую и ждущую развертки. Диапазон частот периодической развертки желателен от нескольких герц до 150—200 *кгц*, а диапазон скоростей ждущей развертки — от долей секунды до 10—6 *мксек*.

Для синхронизации частоты периодической развертки (или «спуска» ждущей развертки) в схеме осциллографа должен быть предусмотрен усилитель синхронизации с входным делителем и фазоселекторной лампой, который конструируется с таким расчетом, чтобы необходимая для устойчивой синхронизации амплитуда синхронизирующего или спускающего импульса не превышала на входных за-



Фиг. 32. Блок-схема универсального электроннолучевого осциллографа.

жимах этого усилителя 1—2 *в*. Фазоселекторная лампа, работающая с раздельными нагрузками в анодной и катодной цепях, позволяет (при помощи потенциометра, включенного между ее анодом и катодом) синхронизировать или спускать генератор развертки импульсом любой полярности.

Для осциллографа желательны три усилителя. Усилитель оси *Y*, предназначенный для усиления исследуемого напряжения, должен обладать широким диапазоном неискаженно усиливаемых частот (от 10—20 *гц* до нескольких мегагерц). Он должен состоять из входного высокоомного

компенсированного делителя, катодного повторителя, низкоомного плавного делителя и собственно усилителя. Катодный повторитель желателен для того, чтобы наличие низкоомного делителя во входной цепи не вызывало появления искажений на высоких частотах. Кроме того, он обеспечивает незначительную входную емкость прибора и позволяет выдерживать большие перегрузки.

На величину входной емкости осциллографа следует обратить особое внимание, так как она может значительно изменить параметры исследуемой цепи. Для того чтобы этого не произошло, при высокочастотных исследованиях вход осциллографа к исследуемой цепи желательно подключать через пробник, соединенный с усилителем коаксиальным кабелем. В этом случае входная емкость будет не более 10—15 *пф*, а входное сопротивление — не менее нескольких мегом.

Для обеспечения широкой полосы пропускания в схеме усилителя должна быть предусмотрена компенсация высоких и низких частот (см. § 15). Для симметричной подачи напряжений на отклоняющие пластины выход усилителя желателен двухтактный, с высокочастотной компенсацией в анодных цепях оконечных ламп, что позволит включить сравнительно высокоомные сопротивления нагрузки и получить за счет этого большой размах линейного отклонения луча на экране трубки.

Генератор ждущей развертки обычно спускается самим исследуемым импульсом. Поэтому неизбежно некоторое запаздывание (порядка долей микросекунды) начала развертки по отношению к моменту появления на отклоняющих пластинах переднего фронта исследуемого импульса. Для того чтобы можно было наблюдать передний фронт, в канал усилителя Y включается так называемая линия задержки, которая задерживает подачу исследуемого напряжения в схему усилителя на время, равное запаздыванию начала развертки.

Усилитель горизонтального отклонения луча (оси X) мало чем отличается от усилителя вертикального отклонения: разница лишь в коэффициенте усиления, который у X-усилителя значительно меньше, так как он в основном предназначен для усиления сигналов, поступающих от генератора развертки. Однако, поскольку этот усилитель может использоваться и для усиления каких-либо исследуемых сигналов (например, при исследовании характеристик элек-

тронных ламп, сравнения частот и т. п.), здесь также желательны входной высокоомный делитель, катодный повторитель и низкоомный плавный делитель.

Отклоняющие пластины трубки могут через разделительные конденсаторы присоединятся непосредственно к зажимам на передней панели осциллографа.

Третий усилитель осциллографа служит для усиления сигналов, подающихся на управляющий электрод трубки. Он состоит из входного делителя, фазоселектора (позволяющего осуществлять либо гашение, либо подсветку луча от сигналов любой полярности), предварительного усилителя и оконечных каскадов. На усилитель, кроме внешних модулирующих импульсов, подаются импульсы от генератора развертки, служащие для гашения луча при обратном ходе периодической развертки, а также для подсветки луча при прямом ходе ждущей развертки. Полоса пропускания этого усилителя должна лежать в пределах от нескольких десятков герц до нескольких мегагерц, а усиление его должно быть таким, чтобы для полного гашения луча на экране на вход усилителя требовалось подать не более 3—5 *в*.

Питание анодных цепей желательно производить от стабилизированного выпрямителя. Схема высоковольтного выпрямителя зависит от типа применяемой в осциллографе электроннолучевой трубки. Сетевые обмотки трансформаторов, работающих в схеме анодного и высоковольтного выпрямителей, следует включить в сеть через реле времени для того, чтобы к моменту подачи в схему высокого напряжения катоды ламп были уже разогреты. Этим исключаются опасность прожога экрана трубки, пробой конденсаторов фильтра, кенотронов и т. д.

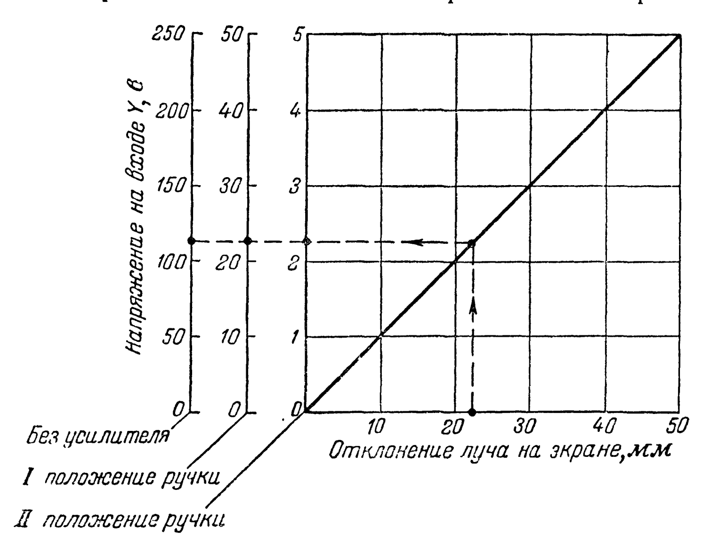
Мы рассмотрели схему универсального электроннолучевого осциллографа. Однако часто можно встретить осциллографы, специализированные для какого-нибудь более узкого применения. Схема таких осциллографов соответствующим образом видоизменяется в зависимости от предъявляемых к ним требованиям. Так, если осциллограф предназначен для исследования только периодически повторяющихся процессов, то в нем отсутствует генератор ждущей развертки; если осциллограф предназначен для исследования только в диапазоне звуковых частот, то усилители его имеют верхнюю границу частот в области 15—20 *кгц* и соответствующую максимальную частоту генератора развертки и т. д.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

20. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Положение светящегося пятна на экране электроннолучевой трубки определяется напряжениями, приложенными к системе отклоняющих пластин (см. § 1). Поэтому сущность измерения постоянного или переменного напряжения



Фиг. 33. Градуировочный график зависимости величины отклонения пятна на экране трубки от величины напряжения на входе осциллографа.

сводится к тому, что это измеряемое напряжение подается на вертикально отклоняющие пластины трубки и измеряется величина отклонения пятна на экране от его первоначального положения. Измеряемое напряжение (в вольтах) в этом случае определяется по формуле

$$U = \frac{\text{отклонение пятна, } см}{\text{чувствительности трубки, } см/в}.$$

Напряжение развертки на X-пластины при этом не подается.

Однако таким способом можно измерить только постоян-

ное или симметричное переменное напряжение. В последнем случае следует иметь в виду, что величина отклонения пятна будет соответствовать двойному амплитудному значению измеряемого переменного напряжения. Если нет уверенности в том, что измеряемое переменное напряжение симметрично, то следует, подав на *X*-пластины напряжение развертки, получить временную осциллограмму исследуемого напряжения, из которой можно определить симметричное или несимметричное это напряжение и измерить не только его амплитудное значение для каждого периода, но и мгновенное значение в любой момент времени, а также проследить весь ход исследуемого процесса во времени. Именно в этом огромное преимущество осциллографического метода перед другими способами измерения переменного напряжения.

Так как чувствительность осциллографических трубок обычно не превышает 0,4 *мм* на 1 *в* отклоняющего напряжения и если измеряемое переменное напряжение не превышает 20—30 *в*, то его приходится подавать на отклоняющие пластины через усилитель [1]. Усилитель при этом должен быть проградуирован.

Градуировка производится следующим образом. На входные зажимы усилителя *Y* подается переменное напряжение известной величины. Ручка регулировки усиления ставится в определенное положение и производится измерение величины отклонения пятна на экране. Затем изменяют величину эталонного напряжения и снова измеряют величину отклонения пятна и т. д. Результаты измерений наносят на график (фиг. 33) или непосредственно на масштабную сетку (фиг. 34).

Получение осциллограммы напряжения, которая бы с достаточной достоверностью отражала измеряемое напряжение или исследуемый процесс, возможно лишь при соблюдении ряда условий.

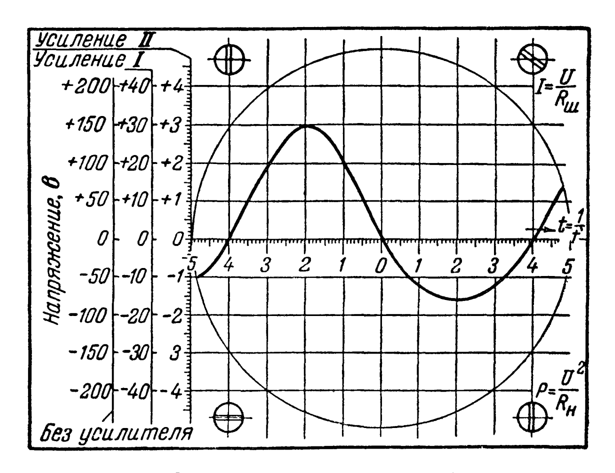
Во-первых, так как частотная характеристика усилителя прямолинейна лишь в каком-то диапазоне частот, то получение неискаженных осциллограмм возможно лишь в этом диапазоне частот. Если на вход осциллографа подано несинусоидальное напряжение, то будут искажены его верхние гармоники, частоты которых лежат выше верхней гра-

---

[1] При подаче постоянного напряжения на вход обычного усилителя (а не усилителя постоянного тока) произойдет отклонение пятна на экране пропорционально приложенному напряжению, однако пятно тут же вернется в первоначальное положение.

ничной частоты усилителя. В этом случае для уменьшения искажений желательно исследуемое напряжение (если оно достаточной величины) подавать непосредственно на отклоняющие пластины.

Второе условие заключается в необходимости иметь входное сопротивление осциллографа значительно больше внутреннего сопротивления источника измеряемого напряжения или, что то же, сопротивления, падение напряжения на кото-



Фиг. 34. Градуированная масштабная сетка.

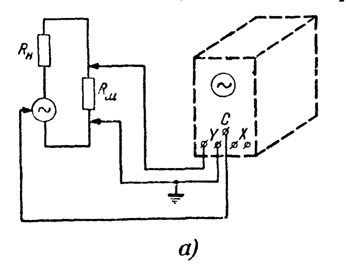
ром подлежит измерению. При измерении постоянного или относительно медленно изменяющегося переменного напряжения это условие всегда выполнимо. При осциллографировании же высокочастотных напряжений существенную роль начинают играть входные емкости усилителя или отклоняющих пластин (при непосредственной подаче на них исследуемого напряжения), а также емкость проводников, связывающих вход осциллографа с исследуемой цепью. Емкости эти шунтируют внутреннее сопротивление источника исследуемого напряжения и вызывают, тем самым, изменение величины и формы этого напряжения.

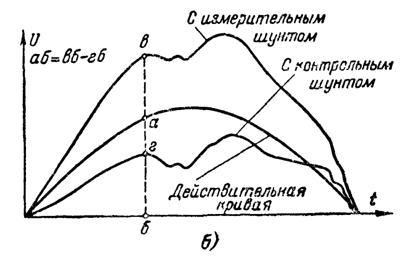
Чтобы избежать влияния входной емкости осциллографа на исследуемую цепь, его соединяют с ней через катодный повторитель, входное сопротивление которого велико. Выходное же сопротивление катодного повторителя незначительно и по сравнению с ним вход осциллографа высокоомен даже при большой частоте исследуемого напряжения.

21. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И МОЩНОСТИ

Так как осциллограф с электростатической трубкой может измерять только напряжение, то для осциллографирования тока необходимо перевести ток в пропорциональное ему напряжение. Это достигается включением последовательно в цепь, ток в которой должен быть измерен, сопротивления, на котором создается падение напряжения, пропорциональное току, протекающему через это сопротивление. Если параллельно сопротивлению присоединить осциллограф, то осциллограмма падения напряжения на этом сопротивлении с достаточной точностью отразит величину и изменения тока в исследуемой цепи (фиг. 35,*а*). Определяя на экране трубки величину напряжения U и зная сопротивление $R_ш$, можно определить ток в цепи в любой момент времени по формуле

$$I = \frac{U}{R_ш}.$$



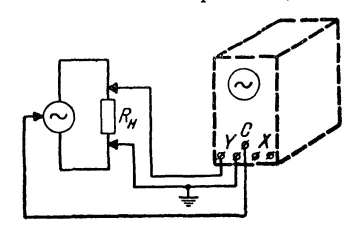


Фиг. 35. Измерение тока.
а — блок-схема установки; *б* — пример графического определения действительной кривой изменения тока.

Формула эта верна только для измерений на низких частотах. При осциллографировании токов высокой частоты необходимо иметь в виду следующее. Изготовить чисто активное сопротивление $R_ш$ невозможно, так как даже прямой отрезок провода обладает на высоких частотах некоторой индуктивностью. Поэтому сопротивление всегда имеет активную R и индуктивную R_L составляющие. При протекании переменного тока падение напряжения на реальном сопротивлении в каждый момент времени складывается из падения напряжения на сопротивлении R и индуктивности L, причем падение напряжения на последней тем больше, чем выше частота.

Если индуктивность достаточно велика, то падение напряжения на индуктивной составляющей при работе на высоких частотах может стать причиной серьезных ошибок.

Поэтому, если имеется опасность возникновения подобных ошибок, поступают следующим образом. Изготовляют сопротивление точно такой же конфигурации, что и измерительное, но из материала с очень малым удельным сопротивлением. Падением напряжения на активной составляющей в таком случае можно пренебречь и считать, что снятая осциллограмма представляет собой осциллограмму искажений, внесенных индуктивностью измерительного сопротивления. Путем вычитания по точкам из осциллограммы, снятой при помощи измерительного сопротивления, осциллограммы, снятой с контрольным сопротивлением, получают истинную картину изменения тока (фиг. 35,*б*).



Фиг. 36. Блок-схема установки для измерения мощности.

По мере увеличения максимальных значений измеряемых токов величина сопротивления $R_ш$ должна уменьшаться, так как иначе луч выйдет за пределы экрана. Уменьшение же активного сопротивления не всегда сопровождается пропорциональным уменьшением индуктивности, и следовательно, влияние индуктивной составляющей усиливается. По этой причине желательно при осциллографировании больших токов понижать чувствительность трубки (можно путем увеличения напряжения на ее аноде), так как это позволит работать с более высокоомными сопротивлениями. Однако максимальную величину сопротивления следует выбирать такой, чтобы включение его последовательно в измеряемую цепь не вносило в параметры этой цепи заметных искажений.

При измерении малых токов также стремятся пользоваться высокоомным сопротивлением с целью получения ощутимого падения напряжения на нем. При этом роль индуктивной составляющей, как правило, оказывается весьма незначительной. К сожалению, в этом случае становится существенным влияние входной емкости осциллографа, которая оказывается присоединенной параллельно измерительному сопротивлению. Для уменьшения шунтирующего действия этой емкости рекомендуется применять те же методы, что и при осциллографировании напряжения источника с большим внутренним сопротивлением.

Измерение мощности при помощи электронного осциллографа производится по схеме, изображенной на фиг. 36.

Осциллограф подключается параллельно нагрузке, сопротивление которой $R_н$ должно быть известно. Определив на экране трубки значение напряжения, находят рассеиваемую на нагрузке $R_н$ мощность:

$$P = \frac{U^2}{R_н}.$$

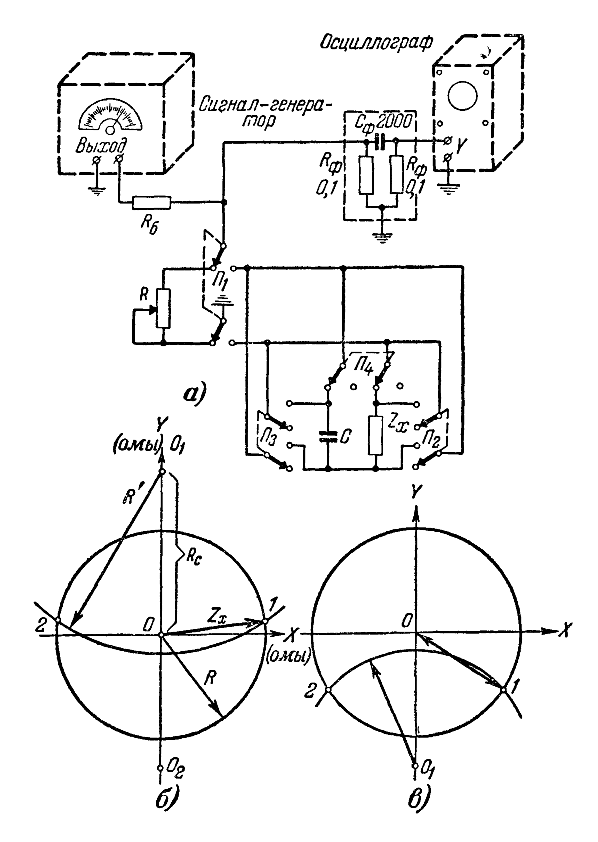
22. ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Описываемый ниже способ позволяет измерять величины полных сопротивлений в пределах от 2—3 *ом* до 200—300 *ком* в диапазоне частот 1—150 *кгц*.

Аппаратура для измерения (фиг. 37,*а*) состоит из генератора на биениях, перекрывающего нужный диапазон частот, коммутирующего устройства и осциллографа (в качестве индикатора). Благодаря наличию буферного сопротивления $R_б$ ток, отдаваемый генератором, не зависит от величины измеряемого полного сопротивления Z_x и остается во время измерений постоянным. Величина этого буферного сопротивления должна значительно (не менее чем в 100 раз) превосходить сопротивление Z_x. В качестве сопротивления R используется калиброванный магазин безиндукционных сопротивлений, а в качестве емкости C — магазин емкостей от 0,5 до 0,001 *мкф*.

Работа на приборе производится следующим образом. Замыкают выключатель $П_2$ и, изменяя величину сопротивления R, добиваются, чтобы в обоих положениях переключателя $П_1$ на экране осциллографа получались равные отклонения. Это значит, что скалярная величина измеряемого сопротивления Z_x и подобранное значение R равны. Записывают эту первую величину R. Далее размыкают выключатель $П_2$, замыкают выключатель $П_3$ и подбирают емкость конденсатора C (в данном случае—его емкостное сопротивление R_C) близкой к найденному в предыдущем измерении значению R и определяют по шкале сопротивления R точное значение R_C выбранного конденсатора (по равенству отклонений на экране осциллографа). Затем размыкают выключатель $П_3$ и, замыкают выключатель $П_4$ и вновь путем изменения величины сопротивления R добиваются равенства отклонений на экране осциллографа при обоих положениях переключателя $П_1$ и получают новое значение величины сопротивления $R = R'$.

На миллиметровой бумаге производят следующие построения (фиг. 37,*б*). Проводят две взаимно перпендикулярные оси X и Y. Из центра O проводят окружность с радиусом, равным величине R при первом измерении.



Фиг. 37. Измерение полного сопротивления.

Затем откладывают (как показано на фиг. 37,*б*) значение измеренного емкостного сопротивления R_C конденсатора C. Из полученной точки O_1 радиусом R' проводят дугу, которая пересечется с первой окружностью в точках *1* и *2*. Расстояние от O до одной из этих точек и есть искомый вектор полного сопротивления Z_x при условии, конечно, что все построение велось в одном определенном масштабе.

Как видно из сказанного выше, не обязательно иметь магазин с точно известными величинами конденсаторов C, так как в данном случае важна не емкость конденсатора, а его емкостное сопротивление, которое определяется по этому же прибору при замкнутом выключателе $П_3$. Поэтому магазин можно заменить набором высококачественных конденсаторов подходящей емкости.

Описанный метод обладает достаточной для практических целей точностью измерений при условии, что емкостное сопротивление конденсатора достаточно близко по величине к R. Однако при больших величинах емкостного или индуктивного сопротивлений соотношения между емкостным сопротивлением R_c, R и R' таково, что дуга может пересечься с окружностью радиуса R под неблагоприятным в смысле точности углом. В этом случае емкость C следует заменить индуктивностью, величина индуктивного сопротивления которой на чертеже будет откладываться вниз от оси X (отрезок OO_2).

Этот же прибор может использоваться и для измерения полной проводимости. Для этого конденсатор C должен подключаться при втором измерении не последовательно (как при измерении полного сопротивления), а параллельно, для чего надо одновременно замкнуть переключатель $П_2$ и $П_3$. Векторная диаграмма для таких измерений приведена на фиг. 37,*в*. Емкостная проводимость конденсатора C на ней изображена отрезком OO_1, а измеряемая полная проводимость в обратных омах (*мо*) — отрезком $O1$.

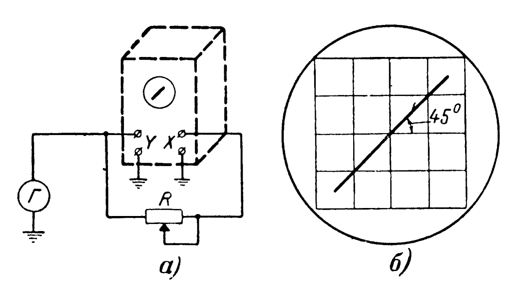
23. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

Сущность описываемого осциллографического метода измерения параметров катушек состоит в сравнении фазы и амплитуды синусоидального напряжения на исследуемой индуктивности и на безиндукционном сопротивлении. Сравнение это производится на экране осциллографа.

В начале исследования необходимо выравнить сдвиг фаз и чувствительность усилителей осциллографа в каналах X и Y, что делается с помощью схемы, показанной на фиг. 38,*а*. Частота питающего генератора должна быть такой же, на которой будет производиться измерение. Изменяя величину сопротивления R добиваются того, чтобы эллипс на экране осциллографа превратился в прямую линию. Затем при помощи регуляторов усиления осциллографических усилителей ориентируют эту линию под углом в 45° (фиг. 38,*б*). Если при этом она снова превратится в узкий

эллипс, то следует вновь подрегулировать сопротивление R и т. д.

Схема для измерения индуктивности катушек приведена на фиг. 39, *а*. Здесь емкость C — слюдяной или бумажный конденсатор известной емкости, а сопротивление R — калиброванный магазин безиндукционных сопротивлений. При помощи сопротивления R устанавливают вертикальный размер осциллограммы, удобный для отсчета. Изменяя ча-



Фиг. 38. Регулирование усилителей X- и Y-каналов осциллографа.

а — принципиальная схема; *б* — осциллограмма, которая должна появиться на экране при полностью сбалансированных усилителях.

стоту генератора, добиваются появления на экране осциллографа прямой линии (фиг. 39,*б*), что соответствует моменту наступления резонанса, и индуктивность L катушки подсчитывают по формуле

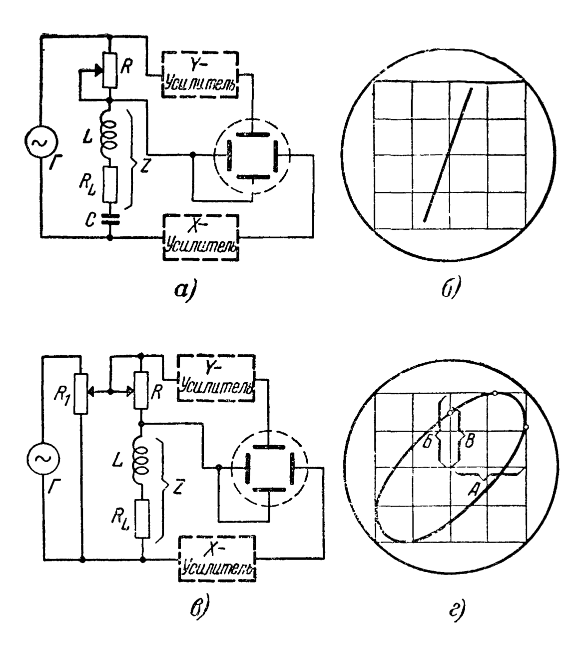
$$L = \frac{\left(\frac{5\,033}{f}\right)^2}{C},$$

где L — в *мг*, C — в *мкф* и f — в *гц*.

Если измеряемая катушка обладает большой добротностью, то точное определение резонансной частоты легче произвести при параллельном соединении катушки и конденсатора C. Однако при этом следует иметь в виду, что распределенная емкость катушки в этом случае будет складываться с емкостью конденсатора C и вычисленная величина индуктивности L будет больше действительной. Поэтому при значительной распределенной емкости катушки лучше пользоваться схемой последовательного резонанса.

Вообще, для облегчения определения резонансной частоты желательно, чтобы выходное сопротивление генератора было велико по сравнению с полным сопротивлением изме-

ряемой катушки на резонансной частоте. В противном случае прямой линии на экране осциллографа при наступлении резонанса не получится и определить момент наступления резонанса будет трудно. То же самое может случиться и при работе с слишком высоким выходным напряжением генератора.



Фиг. 39. Измерение параметров катушек индуктивности.

а — схема измерения индуктивности; *б* — получающаяся осциллограмма; *в* — схема измерения распределенной емкости катушки, полного сопротивления Z и угла φ, *г* — получающаяся осциллограмма.

Для того чтобы определить эффективное сопротивление катушки, надо так подобрать величину сопротивления R, чтобы вертикальное и горизонтальное отклонения на экране были равны между собой. В этом случае величина сопротивления R будет численно равна действующему сопротивлению катушки R_L. У катушек, обладающих сравнительно высокой добротностью, действующее сопротивление мало и для получения достаточно точных результатов следует увеличивать выходное напряжение генератора.

Добротность катушки Q определяется по формуле

$$Q = \frac{2\pi f L}{R_L},$$

где R_L — в *ом*; L — в *мгн* и f — в *гц*.

Распределенная емкость катушки может быть определена с помощью схемы, показанной на фиг. 39,*в*. Изменяя частоту генератора, добиваются наступления резонанса и, определив таким образом резонансную частоту f, а также зная из предыдущих измерений индуктивность катушки L, подсчитывают распределенную емкость по формуле

$$C_0 = \frac{\left(\frac{5\,033}{f}\right)^2}{L},$$

где C_0 — в *мкф*, L — в *мгн* и f — в *гц*.

По этой же схеме (фиг. 39,*в*) может быть произведено измерение полного сопротивления Z катушки и определен угол φ. Для этого, установив нужную частоту генератора, регулировкой величины его выходного напряжения добиваются, чтобы горизонтальное отклонение A (фиг. 39,*г*) приняло удобное для отсчета значение. Затем регулировкой сопротивления R добиваются такого же по величине вертикального отклонения $Б$. В этом случае падение напряжения на сопротивлении R равно падению напряжения на полном сопротивлении Z катушки, т. е. $R = Z$.

Величина угла φ определяется по форме осциллограммы на экране осциллографа. При $\cos\varphi = 1$ осциллограмма превращается в прямую линию с наклоном в 45°, а при $\cos\varphi = 0$ — в правильный круг. Во всех остальных случаях осциллограмма имеет форму эллипса и угол φ определится (фиг. 39,*г*) как

$$\sin\varphi = \pm\frac{B}{Б}.$$

Описанный метод измерения параметров катушек индуктивности удобен в тех случаях, когда нужно исследовать влияние различных факторов на параметры катушек, как, например, применение экранировки, введение сердечников различной формы внутрь катушки и т. п.

24. ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗЫ И ЧАСТОТЫ

Рассмотрим принципы измерения при помощи электроннолучевого осциллографа сдвига фаз между двумя синусоидальными колебаниями одинаковой частоты.

Для этого на обе пары отклоняющих пластин подаются напряжения, сдвиг фазы между которым хотят измерить (например, напряжения со входа и выхода усилителя). Амплитуды этих напряжений должны быть подобраны так, чтобы отклонения луча по вертикали и горизонтали были одинаковы. Характер эллипса, который появится при этом на экране трубки, будет зависеть от величины угла сдвига фазы между исследуемыми напряжениями (фиг. 40,*а*). Для случая сдвига фазы в 0 или 180° эллипс сжимается в прямую линию, наклоненную под углом в 45° к осям. При сдвиге фаз в 90 или 270° эллипс превращается в круг. В промежуточных положениях угол сдвига фазы определяется по формуле

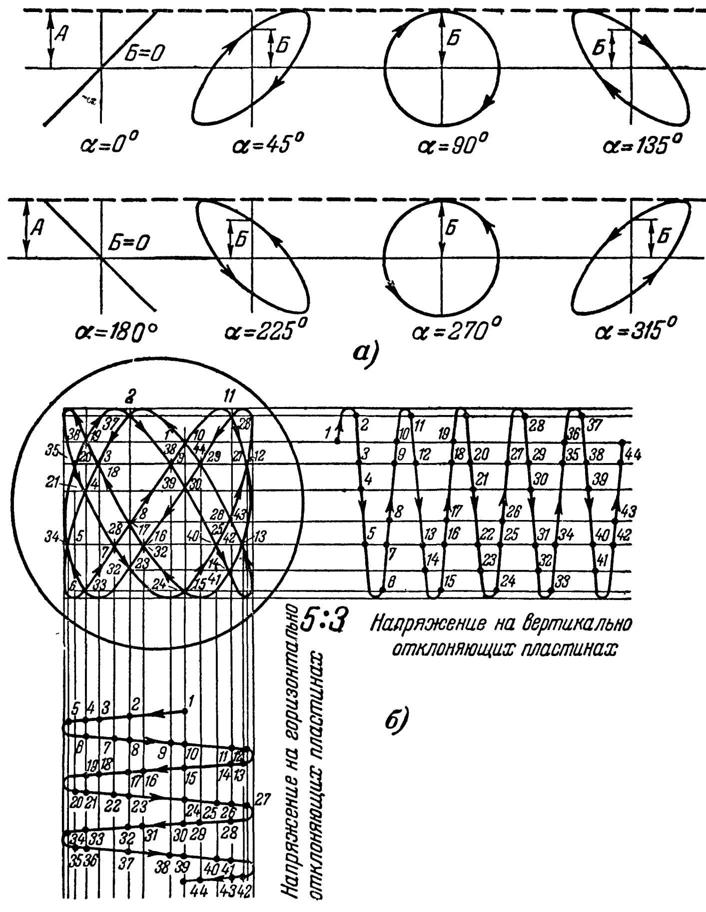
$$\sin\alpha = \pm \frac{Б}{А},$$

где $А$ и $Б$ указаны на фиг. 40,*а*.

Если на отклоняющие пластины подать синусоидальные колебания неодинаковой частоты, то на экране появится так называемая фигура Лиссажу, по виду которой можно определить соотношение частот напряжений, поданных на отклоняющие пластины, т. е. узнать, во сколько раз частота одного напряжения больше (или меньше) частоты другого напряжения.

Практически для определения соотношения частот поступают следующим образом. К вертикально отклоняющим пластинам подводят напряжение, частота которого должна быть определена, а к горизонтально отклоняющим пластинам — напряжение от какого-либо градуированного генератора, частота которого регулируется до тех пор, пока на экране не появится неподвижная и наиболее простая фигура. Следует обязательно стремиться получить как можно более простую фигуру, так как расшифровка сложных фигур, получающихся при большом отношении сравниваемых частот, подчас очень затруднительна. Затем подсчитывают количество точек касания фигуры с вертикальной линией и количество точек касания с горизонтальной линией. Отношение количеств этих точек касания и даст отношение частот, поданных на вертикальные и горизонтальные отклоняющие пластины. Например, на фиг. 40,*б* вертикальной

линии фигура касается в трех, а горизонтальной в пяти местах. Если частота напряжения, поданного на горизонтально отклоняющие пластины, равна 1 000 *гц*, то частота



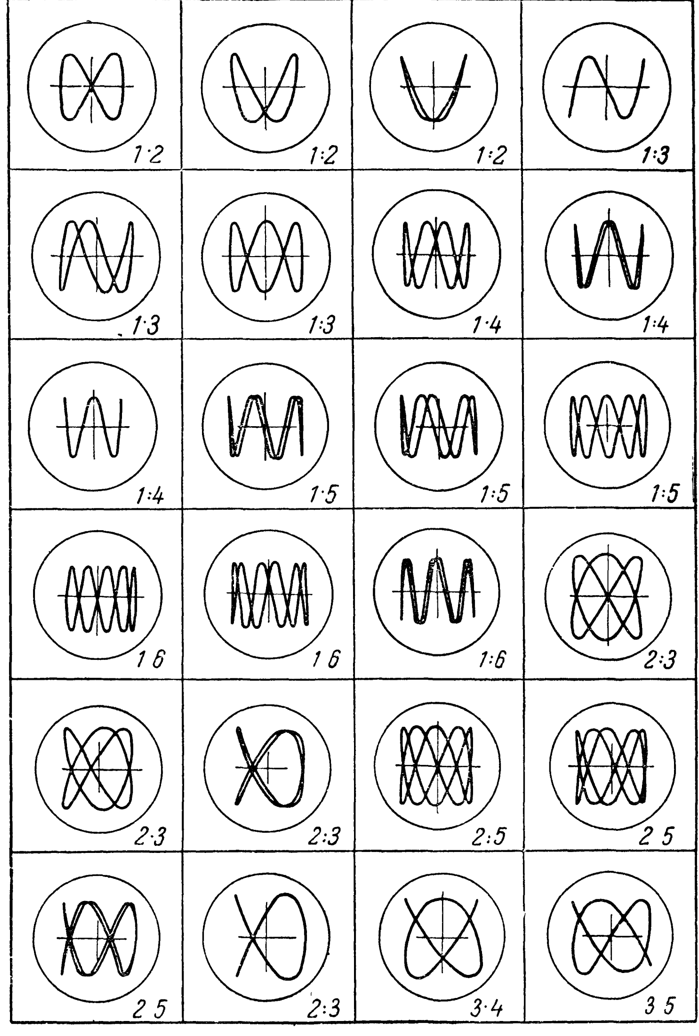
Фиг. 40. Определение сдвига фазы (*а*) и соотношения частот (*б*) двух синусоидальных колебаний.

напряжения, поданного на вертикально отклоняющие пластины трубки, будет:

$$\frac{f_в}{f_г} = \frac{5}{3}; \; f_в = \frac{5}{3} f_г = \frac{5}{3} 1{,}000 \approx 1\,666 \text{ гц}.$$

При измерении в диапазоне звуковых частот в качестве эталонной частоты можно использовать частоту осветительной сети (50 *гц*).

На фиг. 41 приведены фигуры Лиссажу, получающиеся при различных соотношениях частот.



Фиг. 41. Фигуры Лиссажу при различных соотношениях частот и углов сдвига фаз.

25. ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ

Исследование и измерение параметров электрических импульсов имеют ряд специфических особенностей. Если импульсы периодически повторяются друг за другом и длительность каждого импульса составляет не менее $^1/_{10}$ времени повторения импульсов, то исследование их можно производить при помощи обычной периодической развертки, синхронизировав ее с частотой повторения импульсов. Если же отношение длительности импульса к длительности периода повторения меньше $^1/_{10}$ или импульсы повторяются непериодически, то приходится использовать ждущую развертку. Однако в этом случае, как мы уже говорили в предыдущей главе, происходит запаздывание начала развертки относительно начала импульса, которое определяется временем, необходимым для срабатывания генератора ждущей развертки. Время это обычно равно десятым долям микросекунды. В результате этого передний фронт или часть вершины исследуемого импульса не будут видны на экране.

Чтобы иметь возможность просмотреть весь импульс, приходится в канал *Y* включать линию, задерживающую исследуемый сигнал на время, превышающее время запаздывания генератора развертки. Но такая линия почти всегда искажает форму исследуемого сигнала. Поэтому в ряде случаев стараются избежать ее применения, например, если исследуемые импульсы вырабатываются устройством, срабатывание которого может происходить в любое время. В таких случаях при помощи специального импульсного генератора вырабатываются два импульса, несколько сдвинутых по времени один относительно другого. Величина сдвига должна превышать величину времени запаздывания генератора ждущей развертки. Один из этих вспомогательных импульсов (более ранний по времени) заранее спускает генератор ждущей развертки, а другой вспомогательный импульс (более поздний по времени) спускает устройство, вырабатывающее исследуемый импульс. Если временной сдвиг между двумя запускающими вспомогательными импульсами можно изменять, то это позволяет перемещать изображение исследуемого импульса вдоль линии развертки и регулировать величину этого сдвига непосредственно по экрану.

При импульсных исследованиях следует иметь в виду, что чем короче (по времени) исследуемый импульс, тем с большей скоростью двигается по экрану трубки электронный луч. В результате этого уменьшается яркость изобра-

жения. Поэтому при импульсных исследованиях очень коротких импульсов желательно использовать трубки с ускорением после отклонения, у которых яркость при той же чувствительности значительно выше, чем у обычных трубок.

При исследовании очень коротких импульсов с очень крутыми фронтами уменьшается действующая чувствительность трубки по отклонению, так как становится существенным время пролета электронов пучка в пространстве между отклоняющими пластинами. Вследствие этого обычная отклоняющая система оказывается пригодной для воспроизведения импульсов с фронтами, длительность которых больше 0,005—0,01 *мксек*. Для исследования импульсов с более короткими фронтами нужны трубки со специальными укороченными отклоняющими пластинами и высоким ускоряющим напряжением.

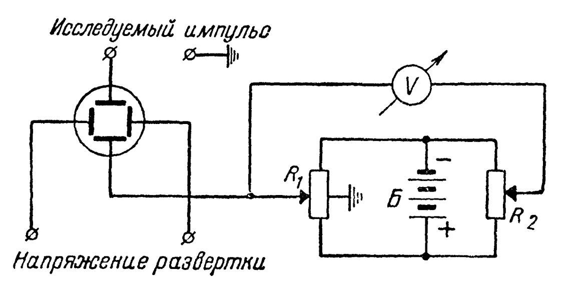
Очень важно обратить особое внимание на входную емкость осциллографа, так как она приводит к удлинению фронтов исследуемого импульса. Если эта емкость значительна (порядка десятков пикофарад), а фронты исследуемых импульсов достаточно круты, то импульсы на вход осциллографа следует подавать через входной пробник, который представляет собой миниатюрный катодный повторитель, входная емкость которого измеряется единицами пикофарад.

Амплитуда исследуемых импульсов может быть недостаточной для непосредственной подачи их на отклоняющие пластины трубки. В этом случае их необходимо сначала пропустить через усилитель вертикального отклонения. Частотный диапазон этого усилителя должен быть достаточно широк для правильного воспроизведения формы усиливаемых импульсов (см. гл. 3).

Измерение амплитуды импульсов ничем не отличается от измерения величины любого переменного напряжения. Для этого осциллограф должен быть проградуирован (см. § 20). Получив на экране устойчивое изображение исследуемого импульса, определяют по масштабной сетке или градуировочному графику амплитуду импульса непосредственно в вольтах. Такой способ не всегда обеспечивает достаточную точность измерения, так как она зависит от величины напряжения питания осциллографа, величины внутреннего сопротивления источника исследуемых импульсов и т. д.

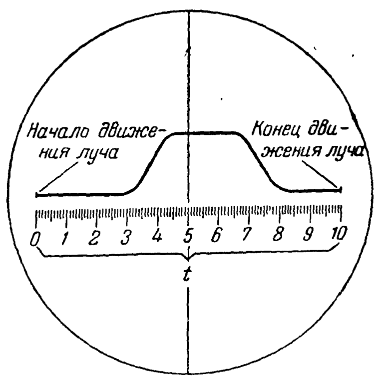
При необходимости очень точного определения амплитуды импульсов можно рекомендовать схему, показанную на фиг. 42. Измерительным прибором здесь служит вольт-

метр постоянного или переменного тока нужного класса точности. Внутреннее сопротивление его должно, по крайней мере, в несколько сот раз превышать сопротивление потенциометров R_1 и R_2. Осциллограф играет роль индикатора.



Фиг. 42. Схема для точного определения величины амплитуды импульсов.

При измерении движок потенциометра R_1 устанавливается в положение, при котором основание измеряемого импульса совпадает с нулевой линией на масштабной сетке осциллографа. Далее, перемещением движка потенциометра R_2 следует добиться нулевого показания вольтметра. После этого движок потенциометра R_1 вновь перемещают до тех пор, пока на нулевой линии не окажется вершина измеряемого импульса. При этом вольтметр укажет величину амплитуды этого импульса.



Фиг. 43. К определению временного масштаба осциллограммы.

Измерение длительности импульса и его частей может быть произведено путем сравнения ширины его изображения (или частей его) на экране трубки с временным масштабом развертки (фиг. 43), который определится как

$$t = \frac{1}{f},$$

где t — время, в течение которого луч проходит от одного края экрана трубки до другого, *сек*;

f — частота развертки, *гц*.

Такой способ построения временного масштаба приблизителен, так как предполагается, что все время t затрачивается только на прохождение луча от одного края экрана до другого, тогда как в действительности часть этого времени приходится на обратный ход луча. Если известно время обратного хода, то в вышеприведенную формулу можно внести поправку, вычитая из вычисленного времени t время обратного хода $t_{o.x}$. Кроме того, полученный результат будет зависеть от того, насколько точно определена частота развертки f. Значительно более точные результаты получаются, если временной масштаб развертки калибруется сигналом известной длительности (см. § 18).

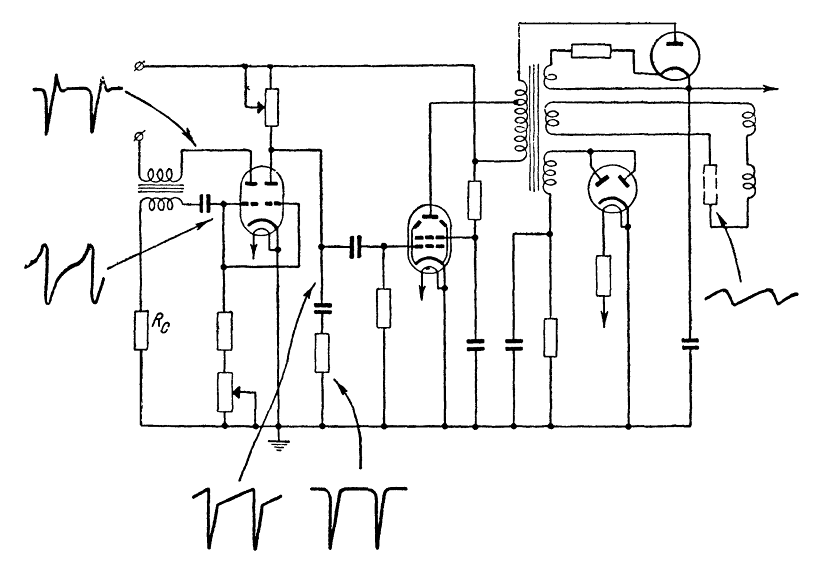
Измерение частоты импульсов. Если импульсы непрерывно следуют друг за другом, то частоту их повторения f_u можно определить путем сравнения с известной частотой синусоидального напряжения f_c. Для такого сравнения исследуемые импульсы подаются на Y-пластины; они же используются для синхронизации частоты развертки.

Добившись устойчивого изображения на экране и измерив расстояние между двумя соседними импульсами, отключают источник исследуемых импульсов от Y-пластин и подают на эти пластины синусоидальное напряжение. Синхронизация развертки попрежнему осуществляется исследуемыми импульсами. Изменяя частоту синусоидального напряжения, добиваются прекращения движения синусоиды по экрану трубки. При этом следует иметь в виду, что движение синусоиды может прекращаться при многих значениях частоты синусоидального напряжения, поэтому нужно подобрать такое значение частоты f_c, при котором период синусоиды, полученный на экране, окажется равным или близким к значению ранее измеренного периода исследуемых импульсов

Полученное значение частоты f_c является пока только приближенным значением частоты импульсов. Затем приступают к точному определению этой частоты. Для этого исследуемое импульсное напряжение подают на Y-пластины трубки, а синусоидальное напряжение с найденной частотой $f_c \approx f_u$ — на X-пластины. Плавно изменяя частоту синусоидального напряжения f_c, добиваются устойчивого положения изображения на экране, на котором в этот момент должен быть виден только один импульс.

В таком положении частота синусоидального напряжения f_c точно равна частоте импульсов f_u.

Описанное измерение можно производить и без предварительной грубой оценки частоты импульсов f_u. Однако в этом случае легко ошибиться, так как при втором (точном) этапе измерения можно получить на экране



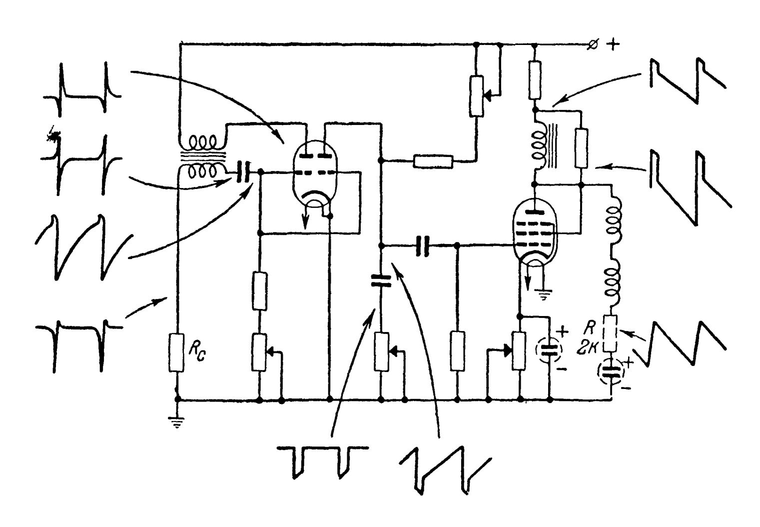
Фиг. 44. Форма напряжений на различных участках схемы телевизионной строчной развертки.

трубки один импульс не только при равенстве частоты импульсов и частоты синусоидального напряжения, но и при кратном их отношении.

В качестве практического примера рассмотрим способ применения электронного осциллографа для исследования импульсных явлений в блоке развертки телевизора.

Форма напряжений в различных участках схемы строчной развертки приведена на фиг. 44. Напряжения эти подаются на вертикально отклоняющие пластины трубки через конденсатор в 5 000—10 000 *пф*. Длина провода, соединяющего исследуемую схему с осциллографом, должна быть не более 0,5 *м*. Напряжение для синхронизации генератора развертки осциллографа может быть снято с сопротивления R_c .

Кроме проверки формы напряжения в различных точках схемы при помощи осциллографа, можно проверить линейность телевизионной развертки по строкам, т. е. просмотреть форму кривой тока в цепи отклоняющих катушек. Так как электростатическая трубка не позволяет непосредственно измерять ток, то к осциллографу подводится напряжение с сопротивления, через которое проходит исследуемый ток.



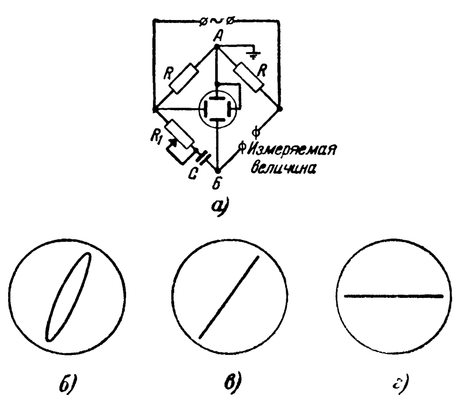
Фиг. 45. Форма напряжения на различных участках схемы телевизионной кадровой развертки.

Для этого в цепь отклоняющих катушек включается небольшое сопротивление, в 2—5 *ом* (оно должно быть безиндукционным и может состоять из нескольких сопротивлений, имеющих большую, чем требуется, величину и соединенных параллельно). В качестве такого сопротивления можно использовать также провод длиной 10—20 *см* и диаметром 0,05—0,1 *мм* из материала, имеющего большое сопротивление (нихром, константан). Место включения этого сопротивления на фиг. 44 показано пунктиром.

Аналогичным способом может быть исследован и генератор кадровой развертки (фиг. 45). При этом емкость переходного конденсатора, посредством которого пластины трубки подключаются к элементам схемы генератора, желательно увеличить до 0,1 *мкф*.

26. ОСЦИЛЛОГРАФ КАК ИНДИКАТОР В МОСТОВЫХ СХЕМАХ

Осциллограф в качестве индикатора баланса в мостовых схемах обладает по сравнению с другими приборами рядом существенных достоинств. Он имеет большое входное сопротивление, позволяет производить измерения практически на любой частоте и осуществлять раздельную регулировку активной и реактивной составляющих, дает возможность легко определить знак разбалансировки моста и т. д.



Фиг. 46. Использование осциллографа в качестве индикатора в мостовых схемах.

а — принципиальная схема установки; *б* — осциллограмма при разбалансировке моста и наличия фазового сдвига; *в* — то же при отсутствии фазового сдвига; *г* — при полном балансе моста.

Для превращения осциллографа в индикатор на горизонтально отклоняющие пластины его трубки подается питающее мост синусоидальное напряжение. На вход *Y*-канала подается напряжение разбаланса моста, взятое с точек *А* и *Б* (фиг. 46,*а*). В случае разбалансировки моста осциллограмма будет иметь вид наклонного эллипса. Если напряжение разбаланса не отличается по фазе от питающего мост напряжения, то эллипс превратится в наклонную прямую линию. Наконец, при балансе моста напряжение между точками *А* и *Б* отсутствует, и осциллограмма примет вид горизонтальной прямой линии (фиг. 46,*б*, *в* и *г*).

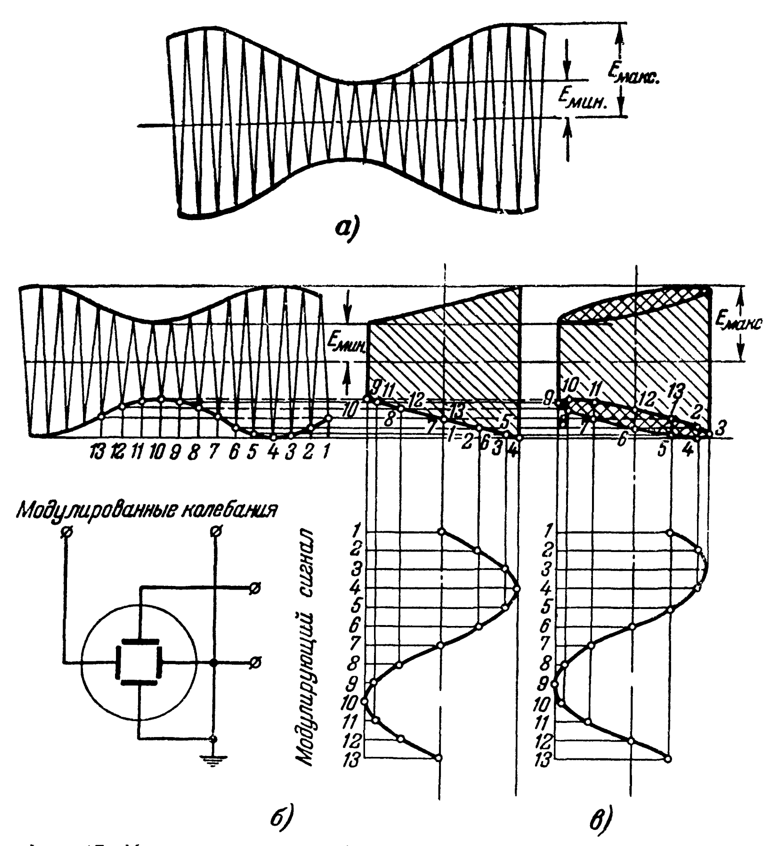
27. ИЗМЕРЕНИЕ МОДУЛЯЦИИ

Обычно измерение модуляции осциллографом производится при действующей периодической временной развертке путем непосредственного осциллографирования модулированных высокочастотных колебаний, подаваемых на вертикально отклоняющие пластины трубки. Генератор развертки при этом должен быть синхронизирован с модулирующей частотой. Глубина модуляции (в процентах) определяется

непосредственным измерением на осциллограмме амплитуды огибающей (фиг. 47,*а*):

$$\frac{E_{макс} - E_{мин}}{E_{макс} + E_{мин}} \cdot 100.$$

Однако такой способ неудобен, если частота модуляции непостоянна или форма модулирующего сигнала отличается

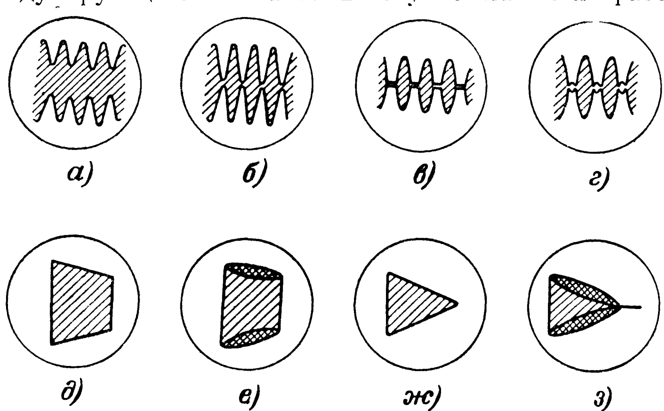


Фиг. 47. Методы осциллографического исследования модуляции.

а — форма модулированного колебания при линейной временной развертке; *б* — метод модуляционной трапеции, *в* — форма трапеции при наличии фазового сдвига

от синусоидальной. Кроме того, он непригоден для определения наличия фазовых искажений в модуляторной системе. Более удобным является способ безвременного осциллографирования, когда на вертикально отклоняющие пла-

стины трубки подается модулированное напряжение, а на горизонтальные пластины — модулирующий сигнал (фиг. 47,*б*). В этом случае осциллограмма имеет вид трапеции, форма которой определяется только глубиной модуляции и искажениями в модуляторе и не зависит от частоты и формы модулирующего сигнала. В случае наличия фазовых



Фиг. 48. Осциллограммы амплитудно-модулированных колебаний.

а — глубина модуляции 50%; *б* — глубина модуляции 100%; *в* — перемодуляция отсечка несущего колебания в течение всего отрицательного полупериода модулирующего колебания; *г* — перемодуляция с частичным подавлением несущего колебания; *д* — линейная модуляция с глубиной 30%; *е* — то же, но с фазовым сдвигом; *ж* — линейная модуляция с глубиной 100%; *з* — перемодуляция и фазовый сдвиг.

искажений в модуляторе наклонные стороны трапеции превращаются в эллипсы (фиг. 47,*в*). При глубине модуляции в 100% трапеция превращается в треугольник, так как $E_{мин} = 0$.

На фиг. 48 приведен ряд типичных осциллограмм амплитудно-модулированных колебаний.

28. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Для получения на экране осциллографа кривой, показывающей зависимость анодного тока исследуемой лампы от напряжения на ее аноде, необходимо, чтобы на анод этой лампы и на горизонтально отклоняющие пластины трубки подавалось напряжение, периодически изменяющееся от нуля до какой-то максимальной (для данного типа исследуемой лампы) величины. На вертикально отклоняющие пластины подается напряжение с сопротивления, включенного последовательно в анодную цепь исследуемой

лампы. Падение напряжения на этом сопротивлении пропорционально протекающему через него анодному току лампы, поэтому и вертикальное отклонение луча на экране также пропорционально этому току.

На управляющую сетку исследуемой лампы от какого-либо источника постоянного напряжения подается нужное напряжение смещения. Изменяя потенциометром это напряжение, можно получить анодные характеристики лампы при разных значениях напряжения на ее управляющей сетке.

Для получения сеточной характеристики исследуемой лампы необходимо при определенном напряжении на аноде лампы подавать на ее сетку периодически изменяющееся напряжение. Это напряжение одновременно служит и для горизонтальной развертки (конечно, после усиления).

Такова в общих чертах методика осциллографирования ламповых характеристик. Практическое же осуществление этой методики получается значительно более сложным.

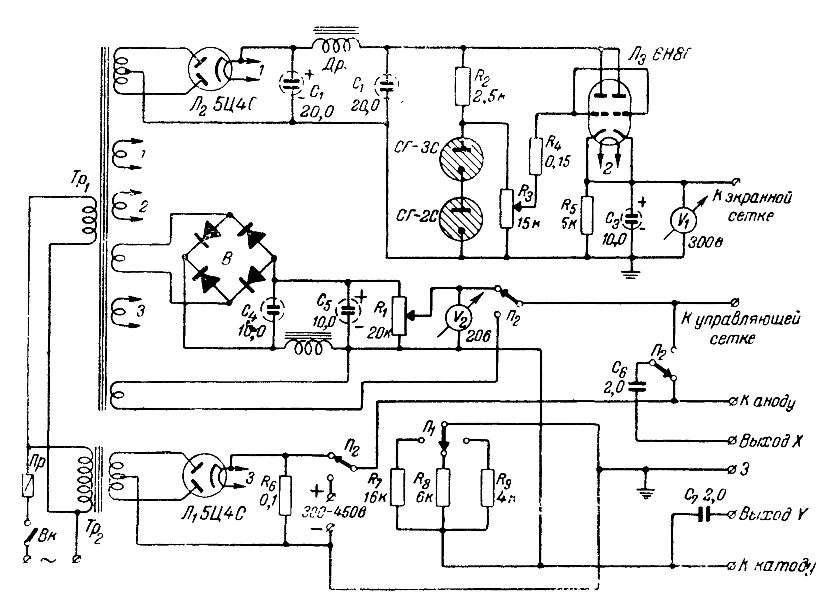
Во-первых, изменяющееся на аноде исследуемой лампы напряжение должно иметь только положительный знак. Для этого оно должно представлять собой либо синусоидальное напряжение с постоянной составляющей, равной амплитудному значению синусоиды, либо получаться от двухполупериодного выпрямителя без фильтра.

Во-вторых, сопротивление, через которое протекает анодный ток и падение напряжения на котором используется для вертикального отклонения луча, должно быть как можно меньшей величины, чтобы уменьшить искажения, вносимые им при определении статических характеристик ламп. Поэтому для получения достаточного отклонения луча необходим усилитель. Усилитель же неизбежно внесет фазовые сдвиги, которые будут проявляться в виде раздвоения линий осциллограммы, так как при подаче на Y и X-пластины трубки переменных напряжений одинаковой частоты, но сдвинутых по фазе, на экране получится не прямая линия, а эллипс. Для компенсации фазового сдвига в цепи Y-пластин необходимо внести такой же сдвиг и в цепи X-пластин, для чего может быть использован усилитель X-канала осциллографа, фазовая характеристика которого должна быть отрегулирована соответствующим образом, как это указано в § 23 (см. фиг. 38).

Схема установки для осциллографирования ламповых характеристик приведена на фиг. 49. Она позволяет снимать как анодные, так и сеточные ламповые характеристики.

Для снятия анодной характеристики при помощи потен-

циометра R_1 и вольтметра V_2 устанавливают величину постоянного напряжения на сетке исследуемой лампы. Напряжение на экранную сетку этой лампы подается от стабилизированного выпрямителя, собранного на лампах $Л_2$, $Л_3$ с использованием газоразрядных стабилизаторов напряжения СГ-2С и СГ-3С. Величина напряжения зависит от положения движка потенциометра R_3 и контролируется вольтметром V_1. Для получения сеточной характеристики на анод



Фиг. 49. Схема для осциллографирования ламповых характеристик.

исследуемой лампы подается анодное напряжение нужной величины (желательно от стабилизированного источника), а на сетку лампы — переменное напряжение от специальной обмотки на силовом трансформаторе.

При помощи описанной установки можно исследовать характеристики и многосеточных электронных ламп (пентодов, гептодов и т. д.), надо только подать на их электроды соответствующее напряжение. Выпрямители, питающие установку постоянным током, должны обладать хорошими фильтрами, а выходные кабели должны быть экранировачы. Переключатель $П_1$ предназначен для выбора величины сопротивления в катоде исследуемой лампы в зависимбсти

от типа этой лампы, а переключатель $П_2$ — для выбора вида исследуемой характеристики.

Осциллограмма семейства характеристик может быть получена путем последовательного фотографирования. Вначале наносятся оси координат, для чего фотографируют сначала вертикальную линию, возникающую на экране при выключении горизонтального отклоняющего напряжения, а затем таким же способом горизонтальную линию. После этого путем нескольких последовательных экспозиций получают на негативе характеристики при разных значениях напряжения на управляющей сетке (анодные характеристики) или при разных анодных напряжениях (сеточные характеристики). Для количественных оценок полученных характеристик прибор должен быть проградуирован (см. § 20).

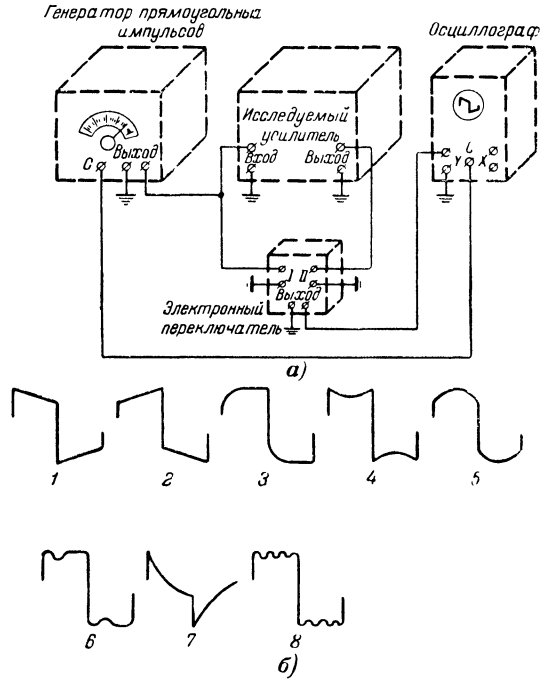
29. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ И ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНИКОВ И УСИЛИТЕЛЕЙ

Осциллографические исследования усилителей и радиоприемников следует разделить на: 1) исследование низкочастотных усилительных устройств; 2) исследование резонансных усилительных каскадов высокой и промежуточной частоты и 3) исследование широкополосных усилителей.

Исследование низкочастотных усилительных устройств. Если при исследовании усилителя не требуется снятия частотной характеристики, а нужно лишь оценить равномерность его усиления в пределах заданного диапазона частот, а также определить вносит ли испытываемый усилитель фазовые искажения, то эти сведения могут быть быстро и легко получены при помощи установки, блок-схема которой показана на фиг. 50,*а*.

Напряжение прямоугольных импульсов на входе испытываемого усилителя должно быть порядка 0,1—0,2 от напряжения, необходимого для получения полной выходной мощности этого усилителя. К выходу усилителя подключается эквивалент нагрузки. Осциллограф при помощи электронного переключателя попеременно подключается к входу и выходу испытываемого усилителя. При этом на экране осциллографа одновременно видны изображения искаженного (с выхода усилителя) и неискаженного (с входа усилителя) прямоугольных импульсов. Это позволяет сравнивать их между собой и тем самым облегчает определение искажений.

Форма импульсов, получающихся на выходе усилителя в зависимости от вносимых им искажений, показана на фиг. 50,*б*. Основные причины искажений, показанных на фиг. 50,*б1*, *б2* и *б3*, были разобраны раньше (гл. 3), поэто-



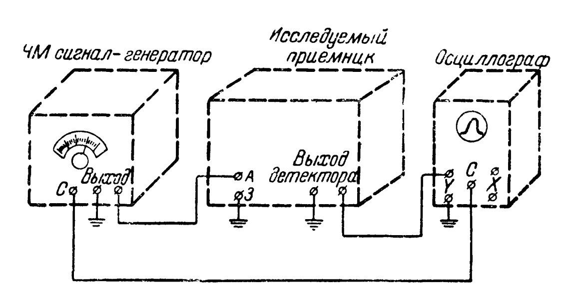
Фиг. 50. Осциллографическое исследование низкочастотных усилительных устройств.

а — блок-схема установки, *б* — искажения прямоугольных импульсов в усилителях.
1 и *2* — фазовые искажения; *3* — снижение усиления в области высоких частот; *4* — подъем усиления на высоких частотах; *5* — подъем усиления на низких частотах; *6* — снижение в узком диапазоне частот; *7* — малая постоянная времени *RC* элементов связи между каскадами; *8* — резонанс на какой-либо частоте.

му отметим лишь некоторые, не рассмотренные ранее случаи.

Если в усилителе имеется подъем усиления на низких частотах, то форма импульса примет вид, изображенный на фиг. 50, *б5*, а если наблюдается подъем усиления на частотах выше частоты импульсов — на фиг. 50,*б4*. Если усиление падает в узком диапазоне частот (или на одной какой-либо частоте), то на горизонтальной части импульса появится

углубление (фиг. 50, *б6*). Слишком малая постоянная времени RC элементов связи между каскадами усилителя дает искажение прямоугольного импульса, показанное на фиг. 50,*б7*. Если же в усилителе имеются резонирующие цепи и наблюдается подъем усиления на какой-либо частоте, то горизонтальная образующая импульса приобретает форму волнистой линии (фиг. 50,*б8*). Частота, на которой



Фиг. 51. Блок-схема для осциллографирования резонансной характеристики радиоприемника.

резонирует усилитель, может быть определена как произведение числа полных циклов, уместившихся на горизонтальной образующей импульса, на частоту импульсов. Перечисленные искажения, естественно, могут сочетаться в различных комбинациях.

Для проверки частотной характеристики низкочастотного усилителя в пределах от 50 *гц* до 8—10 *кгц* достаточно произвести испытание этого усилителя прямоугольными импульсами двух частот: 50 и 800 *гц*.

Исследование высокочастотных резонансных усилительных устройств заключается в получении на экране осциллографа кривой, характеризующей зависимость величины усиления этого высокочастотного устройства от частоты, подаваемой на его вход.

Рассмотрим в качестве примера способ получения резонансной характеристики радиоприемника, который может быть применен и для получения резонансных характеристик высокочастотных каскадов передатчиков, телевизоров, фильтров и т. д.

Способ этот заключается в том, что на вход исследуемого радиоприемника (фиг. 51) от специального генератора подается частотно-модулированный сигнал, т. е. такой сигнал, частота которого не остается постоянной, а изменяется на несколько десятков килогерц в обе стороны от средней

частоты. Частота развертки осциллографа должна быть равна частоте частотной модуляции сигнала и синхронизирована с ней. Напряжение на нагрузке детектора, которое после усиления подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографической трубки, по мере приближения частоты генератора к резонансной частоте промежуточных каскадов будет увеличиваться, а после прохождения частотой генератора этой частоты — уменьшаться. На экране осциллографа при этом появится изображение резонансной характеристики каскадов промежуточной частоты исследуемого радиоприемника.

Однако установка, изображенная на фиг. 51, не дает возможности получать количественные данные об амплитуде исследуемой характеристики и ее частотном диапазоне. Для получения этих сведений в схему установки должны быть введены амплитудный и частотный калибраторы (фиг. 52,*а*).

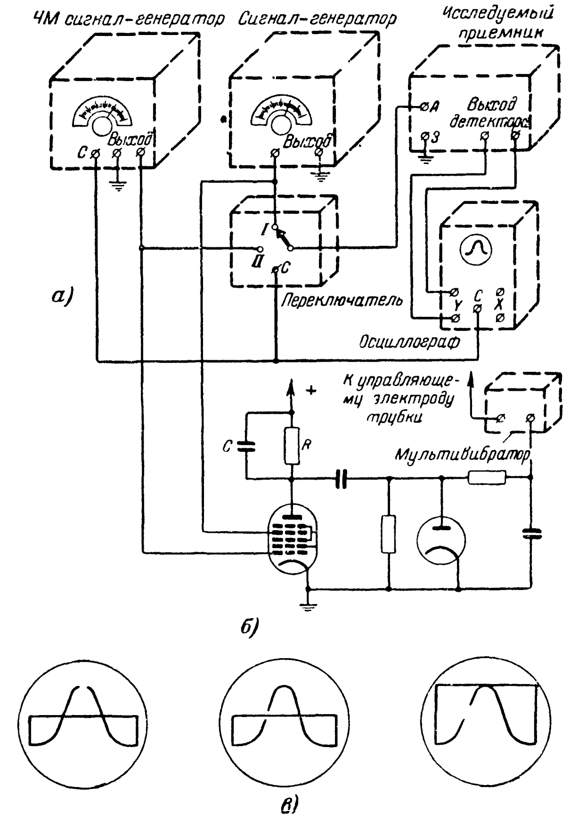
Принцип действия амплитудного калибратора заключается в следующем. Переключателем, в качестве которого может быть использовано устройство типа электронного переключателя для одновременного наблюдения двух осциллограмм, испытываемый резонансный усилитель поочередно и периодически подключается либо к сигнал-генератору, дающему сигналы определенной амплитуды, либо к частотно-модулированному сигнал-генератору.

Частота развертки подбирается такой, что прямой ход совершается за период изменения частоты частотно-модулированного сигнал-генератора от минимума до максимума. При этом луч вычерчивает на экране кривую резонансной характеристики исследуемого усилителя, который в это время присоединен к частотно-модулированному сигнал-генератору. При обратном ходе развертки испытываемый усилитель присоединяется к сигнал-генератору постоянной частоты, и луч прочерчивает на экране прямую линию, которая может перемещаться вверх и вниз при изменении положения выходного делителя сигнал-генератора постоянной частоты и совмещаться с любой точкой резонансной характеристики. Таким образом, разность уровней (в децибелах) между любыми двумя точками резонансной характеристики может быть отсчитана по шкале делителя этого генератора.

Чтобы эта калибрующая прямая была хорошо видна на экране, длительность обратного хода развертки должна быть значительна, т. е. форма напряжения развертки желательна не пилообразная, а треугольная. Частота переклю-

чения должна быть синхронизирована с частотой частотной модуляции.

Для получения данных о частотных координатах резонансной кривой, получаемой на экране осциллографа, на эту



Фиг. 52. Осциллографирование резонансной характеристики радиоприемника или высокочастотного усилителя с использованием амплитудного и частотного калибраторов.

а — блок-схема установки; *б* — основная схема частотного калибратора; *в*—осциллограммы, иллюстрирующие методику пользования амплитудным и частотным калибраторами.

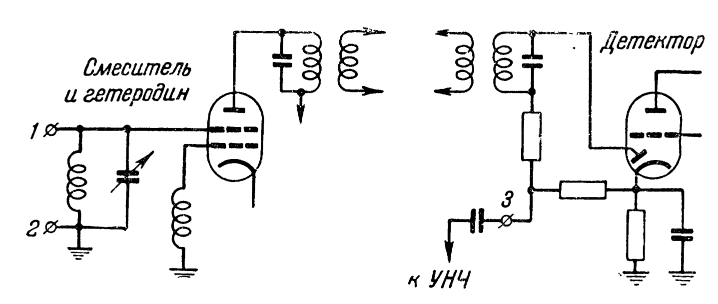
кривую наносится марка в виде темного разрыва, указывающая то место кривой, в котором частота сигнала, даваемого частотно-модулированным сигнал-генератором, совпадает с частотой, на которую настроен сигнал-генератор постоянной частоты.

Для нанесения марки используется частотный калибратор (фиг. 52,*б*), работающий следующим образом. Когда частота частотно-модулированного сигнал-генератора приближается к частоте сигнал-генератора постоянной частоты, на анодном сопротивлении R смесительной лампы происходит падение напряжения с частотой биений. Благодаря тому, что емкость шунтирующего конденсатора C велика, амплитуда этого напряжения будет возрастать с понижением частоты биений и пройдет через максимум, когда частоты обоих сигнал-генераторов сравняются. Напряжение с анода смесителя после детектирования подается на однопериодный мультивибратор и спускает его в момент совпадения частот. При этом мультивибратор генерирует короткий отрицательный импульс, который подается на управляющий электрод трубки, давая на осциллограмме частотную марку. Изменяя частоту сигнал-генератора постоянной частоты, можно менять и частоту, при которой на осциллограмме появляется частотная марка; частота марки определяется непосредственно по лимбу сигнал-генератора.

Осциллограммы на фиг. 52,*в* иллюстрируют методику пользования амплитудным и частотным калибраторами. Слева представлена осциллограмма резонансной характеристики при установке частотной марки в положение средней частоты пропускания усилителя (предположим, что частота, отмеченная маркой, равна 460 *кгц*), а амплитудной линии — в произвольное положение. На средней осциллограмме показано положение, соответствующее определению данных для некоторой точки на боковой ветви резонансной характеристики с частотой 455 *кгц*. Делитель сигнал-генератора постоянной частоты в этом случае устанавливают так, чтобы амплитудная линия проходила через центр частотной марки. Предположим, что такое положение получается при установке делителя в позицию, соответствующую уровню выходного сигнала в 3 *дб*. Затем амплитудная линия совмещается с верхним уровнем резонансной кривой, как это показано на правой осциллограмме. Положение делителя при этом соответствует 12 *дб*. Разница между положениями делителя $12 - 3 = 9$ *дб* показывает, что пропускание усилителя (или приемника) на частоте 455 *кгц* на 9 *дб* ниже, чем на средней частоте 460 *кгц*.

Практически настройка с помощью описанных схем производится следующим образом. Предварительно обычным способом (с сигнал-генератором и выходным индикатором) настраивают каскады промежуточной частоты приемника,

а также его входную высокочастотную и гетеродинную часть. При этом не следует стремиться тщательно отрегулировать приемник, а надо лишь примерно настроить контуры промежуточной частоты на выбранную промежуточную частоту, а входные цепи и гетеродин приемника — примерно на нужные диапазоны частот, не заботясь ни о нужной полосе пропускания, ни о чувствительности и избирательности приемника. Цепь АРУ на все время настройки рекомен-



Фиг. 53. Точки *1* и *2* в схеме радиоприемника, к которым подводится высокочастотное напряжение от частотно-модулированного сигнал-генератора, и точка *3*, с которой снимается напряжение для осциллографа.

дуется отключить. Если в приемнике имеются сильно связанные контуры, то при настройке их следует шунтировать сопротивлениями по 40—60 *ком*, которые потом, во время осциллографической настройки, снимаются.

Затем на вход настраиваемого приемника (точки *1* и *2* на фиг. 53) по экранированному кабелю подается напряжение от частотно-модулированного сигнал-генератора. На вертикальные пластины трубки осциллографа через сопротивление 0,2—0,5 *мгом* подается напряжение с нагрузочного сопротивления детектора приемника (точки *3* и *2*), причем, чтобы избежать возбуждения усилителя промежуточной частоты, сопротивление 0,2—0,5 *мгом* следует припаять непосредственно к нагрузочному сопротивлению детектора.

Наблюдая на экране осциллографа резонансную кривую, производят окончательную настройку контуров промежуточной частоты, входных цепей и контуров гетеродина приемника, регулируя их параметры так, чтобы получить нужную полосу пропускания, желаемую избирательность и чувствительность. Этот наиболее трудоемкий этап работы, отнимающий при обычном способе настройки много времени, благодаря осциллографическому методу значительно упро-

щается и облегчается, так как оператор видит, как влияет та или иная его манипуляция на форму резонансной кривой, ее симметричность и т. д.

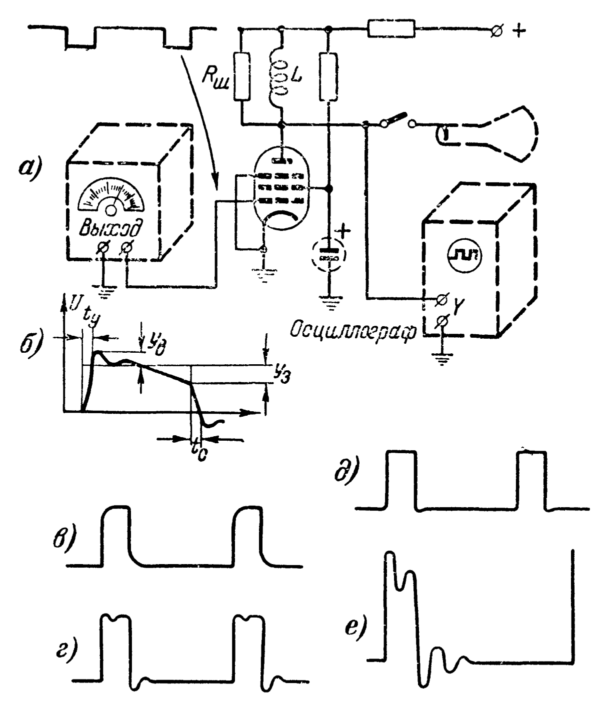
Настройку следует вести при небольшом сигнале от частотно-модулированного сигнал-генератора, но после настройки надо проверить форму резонансной кривой и при большом уровне входного сигнала, а также при прогреве ламп приемника, изменении напряжения в осветительной сети, смене ламп и т. п.

Исследование широкополосных усилителей. В качестве примера рассмотрим настройку видеоусилителя телевизионного приемника (фиг. 54,*а*). Исследование широкополосного усилителя удобно производить при помощи прямоугольных импульсов, причем для исследования частотной и фазовой характеристик телевизионного видеоусилителя вполне достаточно пропустить через него прямоугольные импульсы с частотой 50 *гц* и 100—200 *кгц*.

Сущность настройки усилителя состоит в таком подборе величин элементов его схемы, при котором время установления $t_у$ и время спада $t_с$, а также величины выброса $У_в$ и завала $У_з$ (фиг. 54,*б*), выраженные в процентном отношении к амплитуде импульса, не превышали бы допустимых величин. При испытании усилителя прямоугольными импульсами низкой частоты определяют только величину завала $У_з$, так как время нарастания и спада определить невозможно (оно при этой частоте ничтожно мало по сравнению с длительностью импульса) и, кроме того, трудно получить прямоугольный импульс низкой частоты с крутым передним фронтом. Величину спада следует считать нормальной, если она не превышает 5%, так как в этом случае она мало отражается на качестве телевизионного изображения. То же относится и к величине выброса. Если же величина спада или выброса превысить 5%, то искажения изображения станут уже заметными, а, главное, ухудщится синхронизация блоков развертки.

При подаче на усилитель прямоугольных импульсов высокой частоты производится регулировка компенсирующей катушки L, а также шунтирующего ее сопротивления $R_ш$. При этом следует стремиться получить как можно более крутой передний и задний фронты импульса и неискаженную вершину (малую величину выброса). Так, если закоротить компенсирующую катушку (фиг. 54,*в*), то передний фронт импульса превратится в кривую, определяемую постоянной времени сопротивления анодной нагрузки и

емкостью монтажа, входной емкостью трубки и выходной емкостью усилительной лампы. Введение же в анодную цепь катушки поднимет усиление высоких частот и сделает более крутым передний фронт импульса, а следовательно,



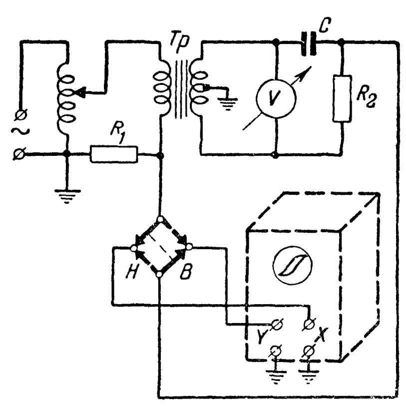
Фиг. 51. Осциллографическое исследование видеоусилителя при помощи прямоугольных импульсов.
а — блок-схема установки; *б* — элементы искажения прямоугольного импульса усилителем; *в*, *г*, *д* и *е* — искажение импульсов в зависимости от величины $R_ш$ и L.

улучшит и качество изображения на экране телевизора. Если появится выброс на вершине импульса вследствие излишнего подъема усилителем высоких частот, то он может быть сглажен подбором шунтирующего сопротивления $R_ш$.

30. МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Осциллографический метод исследования кривых намагничивания магнитных материалов заключается в том, что на горизонтально отклоняющие пластины подается напря-

жение, пропорциональное амплитуде переменного магнитного поля, в котором помещается исследуемый материал, а на вертикально отклоняющие пластины — напряжение, пропорциональное магнитной индукции в этом материале. В результате каждый цикл изменения магнитного поля дает на экране трубки изображение кривой намагничивания (гистерезиса). Частота изменения магнитного поля должна быть достаточно высока, чтобы изображение на экране было устойчиво и не мерцало.



Фиг. 55. Схема для испытания сердечника трансформатора.

На фиг. 55 представлена схема, при помощи которой можно определить величину магнитной индукции B, напряженность поля H и гистерезисные потери в сердечниках из ферромагнитных материалов. Принцип действия схемы основан на использовании того факта, что в трансформаторе Tp (сердечник которого исследуется) без нагрузки в цепи вторичной обмотки ток первичной обмотки и магнитная индукция, определяющая индуцированное напряжение во вторичной обмотке, сдвинуты по фазе на 90°. Поэтому во вторичную обмотку включается фазовращающее устройство, состоящее из конденсатора C и сопротивления R_2, величины которых подобраны так, чтобы напряжение на выходе этого устройства оказалось перевернутым по сравнению с напряжением вторичной обмотки тоже на 90°. Это напряжение подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографа, а на горизонтально отклоняющие пластины подается падение напряжения на сопротивлении R_1 от протекающего через него тока первичной обмотки. При отсутствии на исследуемом сердечнике вторичной обмотки (например, если исследуется низкочастотный дроссель), она может быть намотана в виде нескольких витков изолированного провода.

Для определения магнитной индукции $B_{макс}$ (в гауссах) переключатель ставится в положение B и по показанию вольтметра производят вычисления по формуле

$$B_{макс} = \frac{U}{4{,}44 w_2 f S \cdot 10^{-8}},$$

где U — показание вольтметра, *в*;
w_2 — число витков вторичной обмотки;
f — частота питающей сети, *гц*;
S — поперечное сечение сердечника, *см*^{2}.

Определение напряженности магнитного поля $H_{макс}$ в эрстедах производится при положении переключателя H. Изменением числа витков питающего автотрансформатора добиваются такого же, что и прежде, отклонения на экране осциллографа по горизонтали и вычисляют $H_{макс}$ по формуле

$$H_{макс} = 0{,}89 \frac{Uw_1}{l_{ср}R_1},$$

где U — показание вольтметра, *в*;
w_1 — число витков первичной обмотки;
$l_{ср}$ — средняя длина магнитного пути, *см*;
R_1 — сопротивление, *ом*.

Удельные потери за один цикл определяются площадью петли гистерезиса (с учетом масштаба).

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

При использовании электроннолучевого осциллографа для исследования неэлектрических величин необходимо в первую очередь перевести эту величину (давление, интенсивность света, какое-либо механическое перемещение и т. п.) в пропорциональное ей электрическое напряжение. Производится это посредством специального приспособления, называемого датчиком.

Типы и конструкции датчиков, применяемых в технике осциллографических измерений, чрезвычайно разнообразны. Так, для осциллографического исследования света в качестве датчиков используются фотоэлементы и фотоумножители, в которых световая энергия преобразуется в энергию электрического тока. При измерении небольших механических перемещений (при деформации материалов) используются электромагнитные и электродинамические датчики, принцип действия которых основан на изменении магнитного поля в неподвижной катушке при перемещении относи-

тельно нее подвижной катушки или части магнитопровода, жестко связанных с деформируемой или перемещающейся деталью испытываемой механической конструкции. При исследовании переменных температур используется датчик, действие которого основано на зависимости его сопротивления от исследуемой температуры и т. д.

Мы не будем рассматривать все многочисленные методы осциллографирования механических, оптических, тепловых и подобных процессов и укажем лишь основные положения, из которых следует исходить радиолюбителю в своей практической работе.

Во-первых, применение осциллографа для исследования какого-либо механического, светового, теплового и подобного процесса оправдано только в том случае, если осциллографический метод наиболее удобен из всех других методов исследования этого процесса, как, например, при исследовании быстропеременных колебательных процессов в металлоконструкциях, быстрых изменений давления, света и т. д.

Во-вторых, большое количество типов и конструкций датчиков, применяемых для целей осциллографического исследования неэлектрических процессов в самых разнообразных областях, приводит к тому, что при проведении того или иного конкретного исследования могут быть использованы датчики, совершенно различные по принципу действия. Выбор определенного типа датчика и, соответственно, определенной осциллографической методики должен основываться на ясном представлении принципа действия выбранного типа датчика, его применимости для данного исследования и технических возможностей радиолюбителя.

В-третьих, при работе с датчиком того или иного типа необходимо предусмотреть возможность его градуировки для получения из осциллограммы изучаемого процесса не только качественных, но и количественных сведений, а также для установления закона, по которому измеряемая неэлектрическая величина отображается данным датчиком.

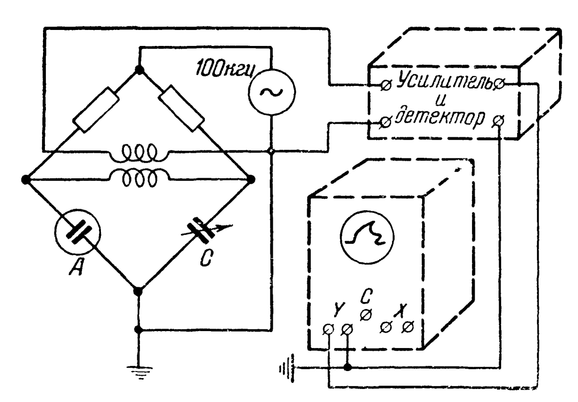
Ниже приводятся примеры осциллографирования некоторых неэлектрических процессов.

31. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Осциллографический метод исследования давления обычно применяют в тех случаях, когда оно быстро меняется во времени (например, измерение давления в цилиндрах

двигателей внутреннего сгорания, исследование различных взрывных явлений и т. п.).

Для преобразования давления в пропорциональное ему электрическое напряжение пользуются конденсаторными и пьезоэлектрическими датчиками. Датчики первого типа представляют собой конденсатор, одна из пластин которого выполняется в виде диафрагмы. Такой датчик напоминает конструкцию конденсаторного микрофона, причем упругость подвижной диафрагмы определяется величиной давления,

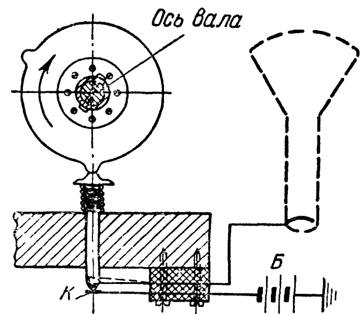


Фиг. 56. Осциллографическое исследование изменения давления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания.

на которое рассчитан датчик. Конденсаторными датчиками широко пользуются при исследовании различных взрывных процессов, протекающих относительно медленно, причем период собственных колебаний мембраны должен быть короче исследуемого импульса давления. Пьезоэлектрические датчики применяются при исследовании весьма коротких импульсов давления. Необходимо при этом учитывать их большую хрупкость, однако они значительно более чувствительны, чем конденсаторные датчики. При исследовании медленных изменений давления представляется возможным применять и электромагнитные датчики.

Разберем способ осциллографического исследования изменения давления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. На фиг. 56 представлена блок-схема применяемой при этом аппаратуры. Датчик *А* конденсаторного типа укрепляется на цилиндре исследуемого двигателя. Его диафрагма сообщается с полостью цилиндра через отверстие,

просверленное в стенке этого цилиндра. При повышении или уменьшении давления в цилиндре изменяется емкость датчика, что вызывает разбалансировку измерительного моста, на выходе которого появляется высокочастотный сигнал (100 *кгц*), модулированный по амплитуде. После детектирования он подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографической трубки. Конденсатор *С* служит для начальной балансировки моста.



Фиг. 57. Устройство для получения „марок" положения коленчатого вала.

Форма напряжения развертки в рассматриваемом примере желательно синусоидальная, так как это даст возможность получить на экране прямую зависимость давления в цилиндре от хода поршня. Синхронизирующие импульсы подаются в моменты прохождения коленчатым валом определенных точек цикла работы двигателя. Для получения этих импульсов на двигателе укрепляют индукционную катушку, в которую в определенный момент времени входит связанный с маховиком сердечник, наводящий в ней импульсы напряжения; они и являются синхронизирующими.

Можно применить и другой способ развертки, при котором горизонтальное развертывающее напряжение вырабатывается специальным устройством, связанным с осью двигателя. Это напряжение может быть пропорционально либо углу поворота вала, либо смещению поршня. В качестве такого устройства может быть применен проволочный потенциометр с вращающимся движком. Для первого случая изменение сопротивления должно быть линейным, а для второго — рассчитано соответственно смещению поршня по вертикали. Получающееся от такого устройства напряжение после усиления подается на *X*-отклоняющие пластины трубки.

Для удобства точного определения на экране осциллографа положения коленчатого вала (или, что то же самое, поршня в цилиндре) в любой момент времени можно воспользоваться маркерными импульсами, которые при подаче их на катод или управляющий электрод трубки создают на осциллограмме темную или светлую отметку. Импульсы эти

получаются при замыкании специальных контактов кулачком, насаженным на коленчатый вал (фиг. 57). Момент замыкания должен совпадать по времени с интересующим исследователя положением поршня (верхняя мертвая точка, открытие впускного или выпускного клапанов, нижняя мертвая точка, искра в свече и т. д.).

При помощи описанной установки можно получить исчерпывающие данные о работе клапанов, степени сжатия и т. п.

32. ИЗМЕРЕНИЕ КОРОТКИХ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ

Необходимость в измерении коротких промежутков времени возникает при исследовании электрических импульсов, при определении времени срабатывания различных реле, фотографических затворов и т. д.

Методика подобных измерений сводится к определению по временной шкале осциллограммы либо промежутка времени между двумя короткими электрическими импульсами, из которых один отмечает начало измеряемого отрезка времени, а другой — его конец, либо к измерению длительности одного продолжительного импульса, начало и конец которого совпадают с измеряемым временным интервалом. Если исследуемый процесс длится в течение очень короткого промежутка времени, то удобнее пользоваться одним импульсом, тогда как для измерения относительно длинных отрезков времени проще использовать два импульса.

Для того чтобы временная шкала на экране осциллографа была равномерна, развертка должна быть линейной. Время T сек., в течение которого луч пройдет эту шкалу (от одного края экрана до другого), определится по формуле

$$T = \frac{1}{f},$$

где f — частота развертки, *гц*.

Каждое деление временной шкалы выразится в секундах, микросекундах и т. д. по формуле

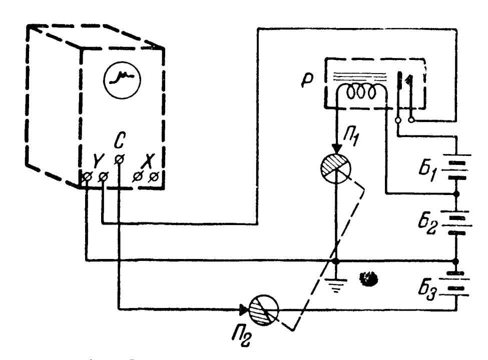
$$t = \frac{T}{n},$$

где n — число делений временной шкалы.

Определение длительности во времени непериодического процесса связано с необходимостью применения ждущей

развертки, спускаемой либо самим исследуемым сигналом, либо одновременно с началом исследуемого процесса внешним импульсом. Калибровка временной шкалы при такой развертке представляет известные трудности, и в этом случае желательно нанесение на осциллограмму марок времени (см. гл. 4).

Перейдем к рассмотрению способа определения времени срабатывания электромагнитного реле. Установка для этого (фиг. 58) работает следующим образом. На возбуждающую катушку реле *P* подается необходимое для ее срабатывания



Фиг. 58. Блок-схема установки для осциллографического определения времени срабатывания электромагнитного реле.

напряжение. Одновременно с этим спускается генератор ждущей развертки, вызывающий горизонтальное смещение пятна осциллографической трубки. Через некоторое время, необходимое для срабатывания реле, контакты его замкнутся, что вызовет подачу напряжения (20—40 *в*) на вертикально отклоняющие пластины трубки. Это необходимое для срабатывания реле время может быть определено непосредственно по временной шкале осциллограммы путем измерения расстояния от первоначального положения пятна до вертикального выброса. Такая операция повторяется 3—5 раз в секунду при помощи вращающегося переключателя, что позволяет получить на экране стационарную картину. Переключатель выполнен в виде кольца, одна половина которого проводящая, а другая изолирована. Переключатель вращается электродвигателем со скоростью около 200 об/мин.

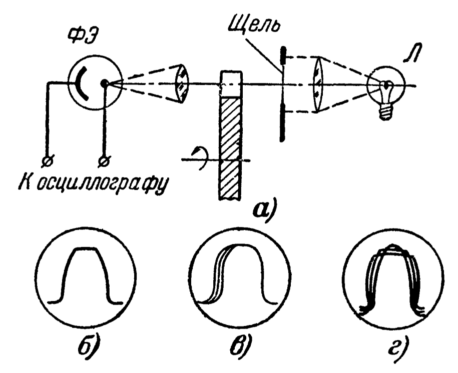
Кроме определения времени срабатывания реле, рассмотренная схема позволяет выяснить характер замыкания

и размыкания контактов реле. Так, если контакты вибрируют, то на экране будет видна серия вертикальных линий.

Для определения времени отпускания реле достаточно повернуть контакт переключателя $П_1$ на 180°, чтобы при начале развертки выключался ток в обмотке реле.

33. КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

При помощи электроннолучевого осциллографа можно контролировать качество поверхности и форму деталей и изделий. Рассмотрим в качестве примера подобного применения осциллографа способ контроля профиля зубов шестеренки.



Фиг. 59. Установка для осциллографического контроля профиля зубьев шестерен.

а — блок-схема установки: *б* — осциллограмма хорошего профиля; *в* — с эксцентриситетом, *г* — с неодинаковыми размерами зубьев.

Схема установки показана на фиг. 59,*а*. Лучи света от электрической лампы *Л* проходят через линзу и идут далее в виде параллельного пучка и попадают на пластину, в которой прорезана узкая вертикальная щель. Высота этой щели должна быть больше высоты зуба контролируемой шестерни. За шестерней находится вторая линза, которая проектирует изображение освещенной вертикальной щели на катод фотоэлемента *ФЭ*. Возникающий в его цепи ток подается на усилитель вертикального отклонения осциллографа.

Процесс контроля профиля зуба производится следующим образом. Шестерня приводится во вращение, а частота развертки осциллографа подбирается такой, чтобы луч на

экране успевал переместиться от одного края до другого за время движения одного зуба контролируемой шестерни перед щелью. Если это условие соблюдено, то по мере того, как щель будет сначала закрываться зубом, а потом открываться, будет изменяться и световой поток, падающий на катод фотоэлемента, а следовательно, будет изменяться и величина напряжения на входе осциллографа. На экране появится изображение исследуемого профиля зуба (фиг. 59,*б*, *в* и *г*) и можно будет легко установить наличие таких дефектов, как эксцентричность, неодинаковость формы или размеров зубьев и т. д.

Подобный способ может быть применен и для контроля небольших плоских изделий сложной формы. Для этого их пропускают перед щелью, укрепляя на движущейся прозрачной ленте.

ЛИТЕРАТУРА

М. Я. Муляров, Электроннолучевые приборы, Госэнергоиздат, 1954.

О. С. Паккл, Генераторы развертки, Госэнергоиздат, 1948, Генерирование электрических колебаний специальной формы, т. I и II. „Советское радио“, 1951.

Г. И. Бялик, Широкополосные усилители, Госэнергоиздат, 1956.

Л. И. Байда и А. А. Семенкович, Электронные усилители постоянного тока. Госэнергоиздат, 1953.

Современный катодный осциллограф (сборник статей), ч. 1, 2 и 3. ИЛ, 1951—54.

Приборы радиолюбительской лаборатории (экспонаты 7-й Всесоюзной заочной радиовыставки), Госэнергоиздат, 1949.

Измерительные генераторы и осциллографы (экспонаты 8-й Всесоюзной заочной радиовыставки), Госэнергоиздат, 1950.

Измерительная аппаратура (экспонаты 9-й Всесоюзной радиовыставки), Госэнергоиздат, 1952.

К ЧИТАТЕЛЯМ

Выпуски Массовой радиобиблиотеки служат важному делу пропаганды радиотехнических знаний среди широких слоев населения нашей страны и способствуют развитию радиолюбительства. В свете этих задач большое значение имеет привлечение радиолюбительской общественности к критике каждой вышедшей книги и брошюры.

Редакция Массовой радиобиблиотеки обращается к читателям данной книги с просьбой прислать свои отзывы, пожелания и замечания вместе с краткими сообщениями о своем образовании, профессии, возрасте и радиолюбительском опыте по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, д. 10—Редакция Массовой радиобиблиотеки Госэнергоиздата.

Цена 2 р. 35 к.